FONDO PIZZOFALCONE

29-E-32

BIBLIOTECA PROVINCIALE

Armadio XIV

Palchetto

Num.° d' ordine 30

24868

29 E 31

R. BIBLIOTECA NAZIONALE
B. Prov.
VITT. EM. III
11
734
NAPOLI

83-
II
734

Digitized by Google

Digitized by Google

TRAITÉ

THÉORIQUE ET PRATIQUE

DES

MACHINES LOCOMOTIVES.

Digitized by Google

Google

SBN
609712

TRAITÉ

THÉORIQUE ET PRATIQUE

DES

MACHINES LOCOMOTIVES

OUVRAGE DESTINÉ

A FAIRE CONNAÎTRE LE MODE DE CONSTRUCTION,
LE JEU DE CES MACHINES ET LEUR EMPLOI, LA CONSOMMATION D'EAU
ET DE COMBUSTIBLE, ETC. :
RECHERCHES BASÉES SUR UN GRAND NOMBRE D'EXPÉRIENCES.

SUIVI

D'UN APPENDICE

Contenant l'exposé des dépenses de ces machines pour le halage des fardeaux sur les chemins de fer.

PAR

Le Chevalier F.-M. Guyonneau de Pambour,

ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE, ANCIEN OFFICIER AUX CORPS ROYAUX DE L'ARTILLERIE
ET DE L'ÉTAT-MAJOR, CHEVALIER DE L'ORDRE ROYAL DE LA LÉGION-D'HONNEUR.

BRUXELLES.
MELINE, CANS ET COMPAGNIE.
LIBRAIRIE, IMPRIMERIE ET FONDERIE.

1837

BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" - NAPOLI

Digitized by Google

INTRODUCTION.

Nous n'avons en France aucun ouvrage sur les machines à vapeur locomotives. En Angleterre deux auteurs s'en sont occupés secondairement, dans des traités sur les chemins de fer. C'est Wood et Tredgold (1). Mais tous deux ont écrit à une époque où l'art naissait à peine. Aussi leurs idées, leurs calculs, et même le petit nombre de leurs expériences, n'ont-ils absolument aucun rapport avec les faits qui se passent actuellement sous nos yeux, et ne peuvent-ils être d'aucune utilité à ceux qui veulent acquérir des connaissances sur ces machines, et leur usage sur les railways.

Beaucoup de questions n'avaient pas même été abordées, d'autres avaient été résolues d'une manière fautive. De nouvelles recherches sur ce sujet devenaient donc indispensables. Aussi trouvera-t-on cet ouvrage complétement différent de tout ce qui a été publié auparavant. Aucun fait n'y sera rapporté qui ne résulte de l'observation actuelle, aucune expérience que celles faites par l'auteur lui-même sur de nouveaux

(1) *A practical treatise on railroads, and interior communication in general, by Nicholas Wood.* 1st *edition, London,* 1825; 2d *edition, London,* 1832.

A practical treatise on railroads and carriages, by Thomas Tredgold, London, 1825. Ces deux ouvrages sont traduits en français.

aperçus et dans de nouvelles vues, et enfin aucune théorie que celle qui ressort de ces mêmes expériences.

Si l'on peut s'étonner d'abord qu'il n'existe aucune théorie des locomotives, on cesse d'en être surpris quand on sait que la théorie de la machine à vapeur elle-même, prise en général, n'a pas été expliquée jusqu'à présent. On pourrait croire que sur un moteur en ce moment si répandu, dans un sujet si important, tout aurait été dit, tout aurait été expliqué depuis longtemps. Mais, loin qu'il en soit ainsi, on en est encore à éclaircir le mode d'action de la vapeur dans ces machines. Ce premier élément de la question n'a pas été établi jusqu'ici, et, faute de cette connaissance indispensable, tout calcul théorique s'est trouvé impossible. Aussi voyons-nous que des mathématiciens très-distingués ont proposé, sur le mouvement du piston dans les machines à vapeur, des formules analytiques qui seraient très-vraies, si effectivement les choses se passaient dans la machine comme ils le supposent ; mais qui, faute d'un point de départ vrai dans le calcul, tombent d'elles-mêmes en présence des faits. De là résulte encore que, dans la pratique, les proportions des machines n'ont été déterminées que par des essais multipliés, et que l'art de les construire ne procède encore que par tâtonnement et par imitation.

Les machines locomotives étant avant tout des machines à vapeur, nous ne pourrons avancer dans les recherches que nous nous proposons, sans résoudre

en même temps la question relativement aux machines à vapeur en général. Il est même un point remarquable à cet égard ; c'est que, parmi toutes les machines à vapeur, les locomotives sont celles qui, dans leur application, ont à vaincre les résistances les moins complexes et les plus susceptibles d'une appréciation rigoureuse. Ce seul fait les rend donc plus propres que toutes les autres à fournir l'explication des faits généraux, communs à toutes ces machines. Une fois la théorie expliquée pour les locomotives, elle le sera pour toute autre machine à vapeur, et plus particulièrement pour celles qui, comme les locomotives, agissent à haute pression. Les machines placées dans les bateaux à vapeur n'étant autre chose que des locomotives, dont les roues tournent dans l'eau au lieu de tourner sur un railway, ce sera surtout à elles que ces principes pourront s'appliquer sans difficulté et presque sans modification.

Sans insister de nouveau sur ce point dans le courant de l'ouvrage, nous nous flattons donc, en faisant des recherches sur les machines locomotives, d'éclaircir en même temps les points principaux de la théorie des machines à vapeur en général, et de fixer d'une manière précise les principes relatifs aux machines à vapeur à haute pression en particulier.

Du reste, pour indiquer clairement la marche de cet ouvrage, et pour montrer en quoi il diffère de ceux qui l'ont précédé, nous croyons devoir mentionner ici avec quelque détail les points sur lesquels nous avons à présenter des recherches nouvelles, soit expérimen-

tales, soit théoriques. On verra que ces points forment à peu près la totalité du sujet.

La pression de la vapeur dans la chaudière était jusqu'à présent considérée comme constante dans chaque machine. On se contentait de la calculer une fois pour toutes et approximativement, d'après le poids sur la soupape. Des observations multipliées montreront combien elle varie durant le mouvement de la machine, et combien il est nécessaire d'avoir égard à cette circonstance, ainsi qu'à plusieurs autres, et d'employer un mode de détermination plus exact, si l'on ne veut baser tous ses calculs sur une erreur.

On trouvera à ce sujet la description d'un changement que nous proposons de faire aux soupapes actuelles pour leur faire marquer la vraie pression, et celle d'un instrument portatif proposé de même pour remplacer le manomètre à mercure, et pouvant s'adapter à toute machine.

Le frottement des wagons était jusqu'ici estimé beaucoup trop haut. Cette erreur faussait naturellement tous les calculs, puisqu'elle trompait sur la vraie résistance vaincue par les machines. Un grand nombre d'expériences sur des wagons, avec ou sans ressorts, isolés ou réunis en trains considérables, en feront connaître la véritable valeur.

La résistance passive des machines locomotives était une question non encore résolue. Nous avons cherché à la déterminer par trois procédés différents qui deviennent la vérification l'un de l'autre.

Le surcroît de frottement, créé dans la machine en raison de la charge qu'elle tire, n'avait jamais été soumis à aucune recherche. Nous présenterons sur ce sujet de nombreuses expériences.

La détermination exacte de la pression de la vapeur dans le cylindre était nécessaire pour expliquer le mode d'action des locomotives, ainsi que des machines à vapeur en général, et pour faire le calcul des services qu'elles peuvent rendre en diverses circonstances. L'erreur faite à cet égard était l'origine de tous ces calculs fautifs que démentait l'expérience. Nous espérons que le facile éclaircissement de ce point mettra comme à découvert tout le jeu de la machine.

La force de vaporisation des machines était un élément sur lequel on n'avait encore fait aucune expérience, qu'on n'introduisait même pas dans le calcul, et d'où cependant dépend en définitive l'effet que ces moteurs sont capables de produire. On en trouvera la recherche faite sur un grand nombre de machines différentes.

Une relation analytique, propre à résoudre le problème général des locomotives, manquait entièrement; c'est-à-dire une relation propre à faire connaître *à priori* soit les effets résultants des proportions données d'une machine, soit réciproquement les proportions nécessaires à adopter pour qu'il en résulte des effets voulus à l'égard de la charge ou de la vitesse. Les essais entrepris jusqu'ici pour arriver à la solution de cette question, étant basés sur un principe faux, n'avaient produit que des formules en contradiction

manifeste avec les faits. On en était venu à adopter comme une règle, que la force pratique d'une machine n'était que le tiers de sa force calculée ou théoriqne, tandis qu'évidemment la totalité du pouvoir appliqué doit se retrouver dans l'effet produit, et s'y retrouve effectivement. Cette prétendue règle prouvait bien l'erreur des calculs employés, et ne menait qu'à des désappointements dans les applications pratiques. On construisait des machines, et l'on ne pouvait dire quel effet elles produiraient. Par l'introduction d'un nouvel élément de calcul, à tort négligé jusqu'ici, savoir la force de vaporisation des machines, on verra que cette question se résout avec une simplicité remarquable. De cette relation, et au moyen de simples mesures prises sur la machine, se conclut immédiatement la vitesse d'une locomotive donnée avec une charge quelconque, et réciproquement la charge que peut conduire cette machine à une vitesse déterminée. Un grand nombre d'expériences, tirées de la pratique ordinaire, montreront l'exactitude de cette formule. Cette théorie est en même temps celle de toutes les machines à vapeur à haute pression.

Plnsieurs dispositions accessoires du mécanisme des machines n'avaient point été étudiées. On verra pourtant qu'elles peuvent facilement enlever à la machine un quart de sa force. Les effets de ces dispositions, et en particulier de celle qu'on appelle *l'avance du tiroir*, seront examinés d'après le calcul et vérifiés par des expériences spéciales.

La résistance propre des courbes du railway devait

de même arrêter l'attention. On cherchera à fixer avec exactitude quelle est la forme convenable des roues et la disposition des rails pour y remédier.

La consommation de combustible en raison de la charge n'avait pas été déterminée d'une manière satisfaisante, et se trouvait démentie par la pratique. Cette question sera ici établie différemment et les résultats confirmés par les faits.

Ces recherches sur les machines comprennent un ensemble de douze machines différentes, et sur chaque branche du sujet on trouvera des expériences nombreuses.

La méthode constamment suivie consiste à chercher d'abord les bases premières du calcul dans l'expérience immédiate, à se servir ensuite de ces éléments pour établir le calcul conformément aux principes théoriques, puis à soumettre les résultats obtenus à de nouvelles expériences directes, afin d'en obtenir la vérification et la confirmation des formules. Enfin, pour éclaircir complétement l'emploi de ces formules, on a soin de les soumettre chaque fois à des applications particulières.

Il n'entre pas dans le plan que nous nous sommes tracé de donner les mesures des diverses parties de la machine, hors celles nécessaires aux calculs qui nous occupent. La considération des dimensions de tout genre nous mènerait trop loin, et regarde spécialement les ouvrages de construction. De même, les figures jointes à l'ouvrage, d'après nos propres dessins, ne sont destinées qu'à faciliter l'intelligence du texte.

Pour tout autre objet elles seraient très-imparfaites.

Le sentier peu battu où nous sommes contraint d'entrer aura pu nous mener à quelque erreur. Nous n'avons nullement la prétention de croire que l'ouvrage en soit exempt, et nous réclamons quelque indulgence pour celles qui, dans un sujet si neuf, nous auront sans doute échappé. Notre principal but a été d'être utile, tout en cherchant une occupation conforme à nos goûts, et en voulant remplir les loisirs d'une vie autrement inactive. Nous désirons surtout exciter des recherches mieux dirigées sur un sujet si propre à fixer l'attention des hommes instruits, par les immenses résultats qu'il peut avoir pour la prospérité d'un pays. Heureux si nous avons réussi en quelques points ; heureux encore si d'autres, redressant nos erreurs, éclaircissent du moins les faits sur lesquels nous avons appelé leur attention !

Toutes les expériences rapportées dans l'ouvrage ont été faites par *nous-même* avec tout le soin et toute l'attention qu'elles exigent. Nous en donnons chaque fois le lieu et la date, afin de faciliter toute recherche de vérification sur les registres de chargement du railway où ces expériences ont eu lieu. On sait que ces registres contiennent le poids détaillé de chacun des trains conduits par les machines. Cette attention aura de plus l'avantage de constater les époques dans l'histoire de la science, en montrant ce que pouvaient exécuter les machines à l'époque mentionnée.

A l'égard des facilités que nous avons eues de faire

ces nombreuses expériences, nous devons dire qu'ayant en Angleterre des relations étendues de parenté et d'amitié, et depuis longues années en possession du langage, il nous a été possible de nous adresser aux chefs des plus belles entreprises de ce genre dans ce pays. Par eux nous avons été mis à même sans restriction de pénétrer dans tous les ateliers, de prendre toutes les mesures, de réunir tous les documents de dépense, et de faire toutes les expériences qui ont pu nous paraître utiles.

Nous aimons à reconnaître dans le caractère anglais cette libéralité dont nous n'avons cessé d'avoir à nous louer pendant toute la durée de nos recherches.

C'est surtout à l'amitié de M. Hardman Earle, l'un des directeurs du railway de Liverpool à Manchester, que nous sommes le plus redevable. Son obligeante bienveillance ne s'est pas démentie un seul jour. Doué de toutes les qualités d'un esprit éclairé, il a voulu s'associer à des recherches qu'il jugeait utiles au progrès de la science; et c'est lui qui a mis à notre complète disposition toutes les machines et les wagons du railway. La beauté de ces machines, leur nombre, qui ne s'élève pas à moins de trente, le soin avec lequel elles sont entretenues, et l'immense commerce de cette ligne, qui permet sans inconvénient de choisir des charges aussi considérables ou aussi légères qu'on le juge à propos, en font le seul endroit du monde peut-être où l'on puisse faire des expériences en grand avec la précision du plus petit appareil. C'est pourquoi nous l'avons préféré, pour cet objet, aux autres rail-

ways actuellement en activité, soit en France soit en Angleterre.

Les mêmes facilités nous ont été données par l'administration du railway de Darlington. Des documents intéressants sur les frais, réparations et dépenses de tout genre de cette compagnie, nous ont été obligeamment communiqués. C'est à la libérale autorisation de M. J. Pease, membre du parlement, président de la compagnie, ainsi qu'aux soins infatigables de M. Robert B. Dockray que nous en avons l'obligation.

Nous avons étudié ce sujet avec tout l'intérêt, nous pourrions dire, avec tout l'entraînement qu'il excitait en nous. Quel tableau admirable en effet que ce triomphe de l'intelligence humaine! quel imposant spectacle que celui d'une locomotive se mouvant sans effort apparent, et tirant derrière elle un train de quarante ou cinquante voitures chargées, pesant chacune dix milliers de livres! Que sont désormais les plus lourds fardeaux avec des machines qui peuvent mouvoir des poids si énormes? que sont les distances avec des moteurs qui franchissent journellement un intervalle de douze lieues en une heure et demie? Le sol disparaît en quelque sorte sous vos yeux : les arbres, les maisons, les montagnes, sont entraînés derrière vous avec la rapidité d'un trait; et lorsque vous croiscz un autre train avec une vitesse relative de quinze à vingt lieues à l'heure, vous l'apercevez en un moment poindre, grandir et vous toucher; et à peine l'avez-vous vu passer avec effroi, que déjà il est emporté loin de

vous, devenu un point, et disparu de nouveau dans le lointain.

D'autre part, quel spectacle plus encourageant que celui de la prospérité de ces beaux établissements! Combien il est satisfaisant d'acquérir la preuve que le chemin de fer de Liverpool produit 9 pour 100 d'intérêt, de savoir que celui de Darlington offre les mêmes bénéfices! C'est avec confiance qu'on envisage l'avenir de telles entreprises, quand on sait qu'outre l'intérêt annuel mentionné plus haut, les actions du chemin de fer de Liverpool sont montées en quatre ans de 100 livres sterling à 210, et celles du railway de Darlington se sont élevées en huit ans de 100^{L} à 300. Comment d'ailleurs douter de leurs énormes avantages, quand on voit toutes les principales villes de l'Angleterre, Birmingham, Bristol, Southampton, Plymouth, etc., se hâter de se jeter dans la même carrière et couvrir en ce moment le pays de leurs chemins de fer? Quel avenir enfin ces établissements n'offriront-ils pas à un pays riche comme le nôtre, dont les capitaux et les produits seront bientôt décuplés sous l'immense influence de ces placements fructueux et de ces transports économiques et rapides?

C'est donc en faisant des vœux pour voir notre patrie se tenir au niveau de ses émules dans cette lice de prospérité, si heureusement suivie déjà par l'Angleterre et l'Amérique, que nous avons entrepris l'ouvrage que nous présentons au public.

Ce sentiment est celui qui nous a déterminé. Engagé de bonne heure dans une route différente, sorti d'une

famille toute militaire, et fils d'un officier-général d'artillerie dont la carrière avait naturellement tracé la nôtre, nos études ne se seraient pas tournées de ce côté, si notre esprit n'avait été vivement frappé des effets gigantesques du puissant moteur que nous avons à décrire, et du rôle important qu'il doit remplir dans la civilisation moderne. Puisse notre ouvrage communiquer cette conviction à nos lecteurs !

Avant de pénétrer dans le sujet qni va nous occuper, nous devons prévenir qu'on trouvera fréquemment dans l'ouvrage l'emploi des mesures anglaises, mais elles seront aussitôt éclaircies par leur transformation en mesures françaises. D'ailleurs, les mesures anglaises dont nous ferons usage offrent, par leur analogie avec les nôtres, une image nette à l'esprit. En définitive, ces mesures se réduisent à cinq, qu'il est bien facile de se représenter en unités françaises. Ce sont le pied, la livre et la tonne, qui diffèrent à peine de nos mesnres de même nom ; le mille, dont tout le monde sait qu'il faut à peu près trois pour faire une lieue ; et enfin la livre sterling, qui vaut à peu près notre louis, et dont une subdivision, le penny, vaut un décime de France.

Pour en donner cependant une idée plus exacte, nous joignons ici un tableau de conversion des mesures anglaises en mesures métriques françaises, d'après l'Annuaire du bureau des longitudes pour l'année 1834. C'est celui qui a servi aux transformations qu'on trouvera dans l'ouvrage.

Pouce ($\frac{1}{12}$ du pied)	2,539954 centimètres.
Pied.	3,0479449 décimètres.
Yard (3 pieds)	0,91438348 mètre.
Mille (1760 yards ou 5280 pieds). . .	1609,3149 mè. ou 1,6093149 kmè.
Livre (avoir-du-poids)	0,4534148 kilogramme.
Quintal (112 livres).	50,78246 kilogrammes.
Tonne (20 quintaux, ou 2240 liv.). . .	1,015649 tonneau de 1000 kgr.
Souverain, ou livre sterling	25,2080 francs.
Shilling ($\frac{1}{20}$ du souverain)	1,2604 franc.
Penny ou denier ($\frac{1}{12}$ du shilling) . . .	10,5033 centimes (1).

Dans tout l'ouvrage les mesures françaises seront toujours exprimées en unités métriques ; toutes les dénominations anciennes représenteront exclusivement des mesures anglaises.

Nous ferons usage des abréviations suivantes :

MESURES ANGLAISES.	Tonne.	*t.*
	Livre (poids)	*lb.*
	Mille	*mil.*
	Pied.	*pi.*
	Pied carré	*pi. c.*
	Pied cube	*pi.cub.*
	Ponce	*po.*
	Livre sterling	*ls.*
	Shilling	*s.*
	Penny ou denier.	*d.*
MESURES FRANÇAISES.	Tonneau.	*t.*
	Kilogramme.	*kg.*
	Kilomètre	*km.*
	Mètre	*m.*
	Centimètre	*cm.*
	Mètre carré.	*m.c.*
	Mètre cube	*m.cub.*
	Franc	*f.*

(1) La pièce d'argent qu'on appelle *shilling*, et la pièce de cuivre qu'on appelle *penny* ont un peu moins de valeur intrinsèque qu'il n'est porté dans ce tableau ; mais nous n'employons ici que leur valeur nominale, comme subdivision du souverain.

Digitized by Google

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

INTRODUCTION. 1

CHAPITRE PREMIER.

DESCRIPTION D'UNE MACHINE LOCOMOTIVE.

ARTICLE I. *Détail et disposition des parties.* 3

§ 1. De la chaudière. 4
§ 2. Du jeu des cylindres. 7
§ 3. Des manivelles et des roues. 9
§ 4. Des soupapes de sûreté. 13
§ 5. Du niveau d'eau. . . . . *id.*
§ 6. Des tiroirs. 14
§ 7. Des excentriques. 16
§ 8. Des directeurs du mouvement. . . 19
§ 9. Des pompes. 24
§ 10. Du régulateur. 25
§ 11. Des joints. 26
§ 12. De la grille de foyer. . . . . *id.*
§ 13. De l'emplacement de toutes les parties. 27

ARTICLE II. *Des proportions des machines.*

§ 1. Des dimensions des parties d'où résulte le pouvoir de la machine. . 31
§ 2. De l'énonciation de la force des locomotives. 33
§ 3. Tableau des dimensions du foyer et de la chaudière de douze des meilleures machines du railway de Liverpool. 35
§ 4. Des machines locomotives anciennes. 41

Digitized by Google

CHAPITRE DEUXIÈME.

DE LA PRESSION DANS LES MACHINES A VAPEUR.

ARTICLE I. *De la pression calculée d'après les leviers et la balance de la soupape.*

Pages.

§ 1. Du principe sur lequel est basée cette détermination. 45
§ 2. Des leviers et de la balance de la soupape. 48
§ 3. Des corrections à faire au poids que marque la balance. 53
§ 4. De la mitre des soupapes. 58

ARTICLE II. *Du manomètre à mercure.*

§ 1. Construction et usage du manomètre. 62
§ 2. Détermination de la pression des machines pendant leur marche. . . . 71
§ 3. Expériences sur la pression des machines. 75

ARTICLE III. *D'un manomètre portatif.*

§ 1. D'une modification proposée aux soupapes ordinaires. 87
§ 2. D'un manomètre portatif propre à remplacer le manomètre à mercure. 90
§ 3. Tableau comparatif des divers modes d'exprimer la pression. 94

CHAPITRE TROISIÈME.

DE LA RÉSISTANCE DES WAGONS SUR LES CHEMINS DE FER.

§ 1. Nécessité de nouvelles recherches à cet égard. 96
§ 2. Du frottement déterminé par le dynamomètre. 100

Digitized by Google

Pages.

§ 3. Du frottement déterminé par l'angle du frottement. 102
§ 4. Expériences sur le frott. des wagons. 108
§ 5. Tableau des résultats obtenus dans ces expériences sur le frottement des wagons 119
§ 6. Frottement des wagons intermédiaires des trains. 124
§ 7. Tableau des résultats des expériences précédentes sur le frottement des wagons intermédiaires des trains. 125
§ 8. Expérience sur le frottement des wagons sans ressorts. 128

CHAPITRE QUATRIÈME.

DU FROTTEMENT OU DE LA RÉSISTANCE PASSIVE DES MACHINES.

ARTICLE I. *Du frottement des machines isolées.*

§ 1. Des divers modes de détermination. . 132
§ 2. Frottement des machines déterminé par la moindre pression. 136
§ 3. Frottement des machines déterminé au dynamomètre. 145
§ 4. Frottement des machines déterminé par l'angle du frottement. 147
§ 5. Tableau des résultats des expériences précédentes sur le frottement des machines. 151

ARTICLE II. *Du frottement additionnel des machines locomotives en raison de la charge qu'elles tirent.*

§ 1. Du mode de détermination. 157
§ 2. Expériences sur le frottement additionnel des machines. 164

Pages.

§ 3. Tableau des résultats obtenus sur le frottement additionnel des machines. 177

§ 4. Nouveaux développements sur le mode de détermination employé. 182

CHAPITRE CINQUIÈME.

THÉORIE GÉNÉRALE DU MOUVEMENT DES LOCOMOTIVES.

ARTICLE I. *De la vitesse du piston*. 186

ARTICLE II. *De la résistance sur le piston due à une charge donnée*. 191

ARTICLE III. *De la pression dans le cylindre*. 196

ARTICLE IV. *De la force de vaporisation des machines.*

§ 1. Expériences sur la force de vaporisation des machines. 199

§ 2. De la force de vaporisation par unité de surface de chauffe. 208

§ 3. De la force de vaporisation effective des machines. 210

ARTICLE V. *De la vitesse de la machine avec une charge donnée.*

§ 1. Expression analytique de la vitesse que peut acquérir une machine avec une charge donnée. 215

§ 2. Expression analytique de la charge que peut conduire une machine à une vitesse déterminée. 222

§ 3. De la détermination de toute autre inconnue du problème ; c'est-à-dire de la surface de chauffe à adopter, ou du diamètre à donner au cylindre, etc., pour obtenir de la machine des effets déterminés. 224

Pages.

§ 4. Table du volume de la vapeur formée sous différentes pressions, nécessaire pour l'application de la formule. 225
§ 5. Tableau des vitesses des machines avec des charges données, d'après le calcul. 228
§ 6. Expériences sur la vitesse et la charge des machines. 235
§ 7. De la vitesse du plus grand effet utile. 272

CHAPITRE SIXIÈME.

DE QUELQUES DISPOSITIONS ACCESSOIRES ET DU CHANGEMENT QUI EN RÉSULTE DANS L'EFFET PRODUIT PAR LA MACHINE.

ARTICLE I. *Du régulateur.*
§ 1. Des effets de l'ouverture du régulateur 277
§ 2. Des passages de la vapeur. 279
§ 3. Tableau des dimensions des passages de la vapeur dans quelques-unes des machines du railway de Liverpool à Manchester. 280
ARTICLE II. *De l'orifice de sortie de la vapeur dans la cheminée.* 283
ARTICLE III. *De l'avance du tiroir.*
§ 1. De la nature et des effets de l'avance du tiroir. 286
§ 2. Calcul des effets de l'avance du tiroir. 293
§ 3. Expériences sur les effets de l'avance du tiroir. 302
§ 4. Tableau des résultats obtenus dans ces expériences. 307
§ 5. De la manière de régler l'avance du tiroir 311

Pages.

CHAPITRE SEPTIÈME.

DES COURBES ET DES PENTES.

ARTICLE I. *Des courbes.*

§ 1. Calcul de l'inclinaison conique des roues pour annuler l'effet des courbes. 316

§ 2. Calcul de la surélévation des rails pour annuler l'effet des courbes. 321

ARTICLE II. *Des pentes.* 329

CHAPITRE HUITIÈME.

DE L'ADHÉRENCE.

§ 1. Mesure de cette force. 335

§ 2. Des machines employées sur routes communes. 339

CHAPITRE NEUVIÈME.

DU COMBUSTIBLE.

§ 1. Calcul de la consommation de combustible en raison de la charge. . . 347

§ 2. Expériences sur la quantité de combustible consommée par les machines. 354

APPENDICE. DÉPENSE DU HALAGE PAR LE MOYEN DES LOCOMOTIVES SUR LES CHEMINS DE FER.

§ 1. Frais d'entretien des machines. . . . 367

§ 2. Frais d'entretien du railway. 386

§ 3. Frais de combustible. 390

§ 4. Frais totaux de transport. 393

§ 5. Bénéfices résultants. 395

§ 6. Recettes et dépenses du railway de Liverpool à Manchester, depuis son origine. 397

FIN DE LA TABLE.

TRAITÉ

THÉORIQUE ET PRATIQUE

DES

MACHINES LOCOMOTIVES.

La marche que nous nous proposons de suivre dans cet ouvrage le rendra, nous l'espérons, clair et méthodique.

Nous donnerons d'abord la description d'une machine locomotive, et nous ferons connaître les moyens d'y mesurer exactement la pression de la vapeur, ce qui mettra sous les yeux, avant tout, les éléments d'où résulte le pouvoir du moteur que nous avons à employer.

Notre attention se portera ensuite sur les résistances que doit vaincre ce moteur dans son mouvement, et ainsi nous chercherons successivement à connaître la résistance des wagons et celle qui est propre à la machine elle-même, soit lorsqu'elle se meut isolément, soit lorsqu'elle tire à sa suite un fardeau.

Avec ces données premières, nous passerons à

la théorie générale du mouvement des locomotives, et nous donnerons les formules par lesquelles on peut déterminer *à priori* soit la vitesse que prendra la machine avec une charge donnée, soit sa charge pour une vitesse fixée, soit toute autre inconnue du problème dans des conditions déterminées.

Nous nous occuperons ensuite de plusieurs dispositions accessoires et propres à la machine, qui peuvent exercer une influence plus ou moins grande sur les effets qu'on en doit attendre, et nous traiterons de même de quelques circonstances extérieures qui peuvent avoir un résultat semblable.

Enfin, nous parlerons du point d'appui du mouvement ou de la force d'adhérence de la roue sur les rails, et notre dernier chapitre sera consacré au calcul de la consommation de combustible avec des charges données.

Ces recherches donnent la solution de toutes les questions importantes pour l'application des locomotives à la traction des fardeaux.

Elles se subdiviseront quelquefois en plusieurs branches, et exigeront des calculs et développements théoriques plus ou moins longs, quoique toujours simples et faciles, et des séries d'expériences plus ou moins nombreuses; mais nous ferons en sorte de conserver partout le classement que nous venons d'indiquer.

Digitized by Google

CHAPITRE PREMIER.

DESCRIPTION D'UNE MACHINE LOCOMOTIVE.

—

ARTICLE PREMIER.

DÉTAIL ET DISPOSITION DES PARTIES.

La figure 1re représente une machine locomotive construite sur le principe le plus perfectionné. Le mécanisme en est assez simple pour qu'une courte description en puisse faire comprendre le jeu. Ce que pourrait laisser à désirer ce premier aperçu se trouvera éclairci par les développements qu'on aura occasion de donner en avançant dans l'ouvrage.

Les parties principales de la machine sont : le foyer et la chaudière, ce qui constitue le mode d'élever la vapeur ; les tiroirs et les cylindres, qui sont les moyens de faire agir la force élastique qui réside dans cette vapeur; et les manivelles et les roues, par le moyen desquelles le mouvement se transmet des pistons à la machine elle-même. Après avoir décrit ces parties principales, nous passerons

à quelques autres moins importantes; puis nous donnerons l'emplacement particulier de toutes les parties.

§ 1er. *De la chaudière.*

La figure 3 donne l'intelligence complète de la chaudière.

On y voit le corps de la machine composé de trois compartiments distincts. Celui qu'on voit à droite, ou en avant de la machine, et qui est surmonté de la cheminée C, est séparé des deux autres par une cloison *tt*. Les deux autres ensemble forment la chaudière. Tous deux sont remplis d'eau jusqu'à une certaine hauteur *cd*, mais une partie de leur espace intérieur est occupée par le feu, comme on va l'expliquer.

Dans le compartiment d'arrière est placée une boîte carrée *e* qui contient le combustible, ou forme le foyer de la machine. Cette boîte laisse partout entre ses parois latérales et celles du compartiment qui la contient un espace *qq*, lequel est en libre communication avec le reste de la chaudière, et se trouve par conséquent rempli d'eau. La boîte intérieure est soutenue dans le compartiment qui la contient, et réunie à lui par de forts rivets dont l'avantage est de donner de la solidité à cette partie de la chaudière, qui, n'étant point arrondie, offre moins de résistance que les parties cylindriques.

La boîte à foyer *e* étant ainsi placée dans le milieu d'un compartiment de la chaudière, serait environnée d'eau de toutes parts, si ce n'était l'ouverture *l* qui forme la porte du foyer et le dessous *nn* de la boîte qui est occupé par une grille, dont *nn* représente un des barreaux. Cette grille se voit plus clairement dans la figure 4, qui représente la même boîte à foyer vue de face.

Près de cette porte *l* et sur la machine est placée une forte planche de support, qui dans la figure 1 se trouve représentée en BB. Cette planche sert à porter le machiniste. Immédiatement derrière la machine suit le convoi d'approvisionnement d'eau et de charbon. Ainsi, il est facile au conducteur de jeter, suivant le besoin, du coke dans le foyer par la porte *l*, et de faire passer de l'eau dans la chaudière lorsqu'il est nécessaire. Cette alimentation d'eau se fait au moyen d'une pompe foulante mise en jeu par la machine elle-même, et dont nous parlerons plus loin.

Comme on l'a dit, la partie inférieure *nn* du foyer est occupée par une grille, et ainsi reste ouverte à l'extérieur. C'est par là qu'arrive l'air nécessaire à la combustion. Le charbon qu'on met dans le foyer tombe sur cette grille et y est soutenu. Le feu étant allumé, et la porte du foyer fermée, la flamme du combustible se trouve confinée dans le foyer. Elle n'aurait aucune issue, si un grand nombre de petits tubes *e' e''*, dont la disposition se voit encore mieux dans la figure 4,

ne conduisaient cette flamme jusqu'à la cheminée, en lui faisant traverser toute la longueur du second compartiment ou de la partie cylindrique de la chaudière.

D'après cette construction on voit que le feu étant enfermé dans le foyer et se trouvant entièrement environné d'eau, aucune de ses parties calorifiques n'est perdue. Ensuite la flamme, dans son chemin vers la cheminée, se divise dans tous les petits tubes dont nous avons parlé. Elle traverse ainsi l'eau de la chaudière en ayant une surface considérable de contact avec elle, et ne s'échappe qu'après lui avoir communiqué autant que possible tout le calorique qu'elle contenait. Une fois arrivée à l'extrémité *e''* des tubes, cette flamme se trouve rendue dans le compartiment de la cheminée, et elle s'échappe librement par la cheminée C.

Ainsi l'on voit ici la chaleur appliquée de deux manières fort distinctes. Toute l'eau qui entoure la boîte du foyer est en contact immédiat avec le combustible, ou se trouve soumise à l'action du calorique rayonnant. Celle qui est située dans le compartiment du milieu ne reçoit de chaleur que par le contact de la flamme et de l'air chaud qui s'échappent du foyer. Ainsi cette eau n'est exposée qu'à la chaleur communicative.

Il est nécessaire de consigner ici que cette forme de chaudière à tubes, forme à laquelle on doit sans contredit toute la surprenante puissance des machines locomotives actuelles, est d'invention

française. C'est à M. Séguin, ingénieur civil et manufacturier à Annonay, qu'est due cette ingénieuse disposition [1].

§ 2. *Du jeu des cylindres.*

La seconde partie importante de la machine est l'appareil des tiroirs et des cylindres. La figure 3 est destinée à en montrer de même la disposition.

---

[1] Le brevet d'invention de M. Séguin est à la date du 22 février 1828, et ce n'est que le 25 avril 1829 que le comité des directeurs du railway, de Liverpool, appela l'attention des mécaniciens anglais sur les machines locomotives, en proposant un prix à ce sujet, et le 6 octobre 1829 seulement que parut la machine *Rocket* de MM. Stephenson et Booth, dont le principe et même la forme ne diffèrent en rien du brevet de M. Séguin.—Sans ôter à M. Booth le mérite d'avoir conçu également cette ingénieuse idée, la priorité n'en reste pas moins à l'ingénieur français.

C'est un fait que les Anglais vérifieront facilement en cherchant le brevet signalé plus haut dans les ouvrages suivants qui certainement se trouvent à la Bibliothèque du Musée britannique et dans les principales bibliothèques de l'Angleterre : Annales de l'Industrie française et étrangère, ou Recueil industriel et manufacturier, année 1828; Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale, année 1828; Description des Machines et Procédés consignés dans les Brevets d'Invention, de Perfectionnement et d'Importation, publiée d'après les ordres du ministre de l'intérieur et du commerce. Nous indiquons cet ouvrage à l'avance. Comme il ne donne les détails que des brevets expirés, ce ne sera qu'à l'année 1838 qu'on y trouvera la spécification de M. Séguin.

Dans la partie supérieure de la chaudière, c'est-à-dire dans la partie occupée par la vapeur, est un large tube VV'. Il est ouvert à l'une de ses extrémités V, et mène au dehors de la chaudière. C'est ce tube qui conduit la vapeur dans les cylindres. En V', dans l'intérieur de ce tube, est un robinet ou régulateur, dont la poignée sort au dehors de la machine, et que l'on voit en T. En tournant plus ou moins cette poignée, on peut à volonté ouvrir ou fermer le passage à la vapeur.

La vapeur étant donc produite en grande abondance dans la chaudière, et ne pouvant s'en échapper, s'y élève à un degré de force élastique considérable. Si en ce moment on ouvre le robinet V', la vapeur pénétrant dans le tube par l'ouverture V le suit jusqu'à l'entrée v de la boîte à tiroirs. Là, un tiroir x, qui se meut en même temps que la machine, ouvre successivement communication à la vapeur avec l'un et l'autre bout des cylindres. Ainsi cette vapeur pousse alternativement le piston d'une extrémité à l'autre des cylindres. Ceux-ci sont placés horizontalement dans le bas du compartiment de la cheminée, où le passage de la flamme et les parois elles-mêmes de ce compartiment les protégent contre l'effet condensateur de l'air froid, et les maintiennent au degré de chaleur convenable.

Dans la figure la direction des flèches indique la ligne de circulation de la vapeur. On la voit arriver de l'ouverture V jusqu'à la boîte à tiroirs.

Dans la situation où est ici représenté le tiroir, on voit que le passage 1 se trouve ouvert à la vapeur, et qu'ainsi le piston est poussé dans la direction de la flèche. Dans l'instant suivant le passage 2 sera ouvert à son tour, et le piston sera poussé en sens inverse. La vapeur, après avoir terminé son effet, passe dans le tuyau v' qui la conduit dans la cheminée par où cette vapeur s'échappe dans l'atmosphère.

La prise de vapeur se fait en V, dans un point élevé à dessein, pour que le bouillonnement et les secousses de la machine ne puissent faire sauter l'eau de la chaudière jusque dans l'ouverture V.

§ 3. *Des manivelles et des roues.*

Les tiges des pistons étant donc mises en jeu, ainsi qu'on vient de l'expliquer, et glissant dans des guides qui assurent leur mouvement rectiligne horizontal, communiquent un mouvement de rotation à l'essieu des deux roues de derrière ou grandes roues de la machine. Cette transformation du mouvement alternatif en mouvement circulaire s'effectue au moyen d'une manivelle ou coudure faite à l'essieu, sur le principe du rouet à pied ordinaire. Cet effet est clairement représenté dans la figure 3. On y voit que la vapeur, poussant et tirant alternativement le piston, fait tourner la manivelle yz, et par conséquent l'essieu et la roue qui y est fixée. Cependant, comme dans le mouve-

ment d'une manivelle il y a deux points où la force alternative qui met cette manivelle en jeu n'a pas plus de tendance à la mouvoir dans un sens que dans l'autre, ce qui a lieu quand le rayon de la manivelle se trouve dans la direction du mouvement de va-et-vient, on a soin de placer à angle droit l'une sur l'autre les deux manivelles respectivement correspondantes aux deux pistons. Par ce moyen l'une a toujours son plein effet quand l'autre cesse d'agir, et la force de la machine ne varie pas. Les deux cylindres étant, comme on l'a dit plus haut, placés au-dessous de la chaudière, les tiges des pistons communiquent directement par-dessous la machine, et, comme on le voit dans la figure, avec les manivelles en question, qui ne sont que des coudures de l'essieu. Celui-ci étant mis en mouvement, les deux roues qui ne font qu'un avec lui tournent en même temps; et par conséquent la machine exécute sa progression de la même manière qu'une voiture dont on ferait tourner les roues en poussant aux rais.

Comme le seul point d'appui du mouvement se trouve dans l'adhérence de la roue sur le rail qui la porte, ce qui fait que cette roue avance au lieu de glisser, on pourrait douter que sur une surface aussi unie que les rails d'un chemin de fer, la machine pût avancer en vertu du seul mouvement de rotation imprimé à ses roues, surtout lorsque cette machine doit tirer à sa suite un poids considérable. Mais l'expérience prouve que quelque

faible que paraisse devoir être l'adhérence d'une roue sur un rail bien poli, comme d'autre part la force nécessaire pour tirer un poids sur un chemin de fer est extrêmement petite, cette adhérence suffit, et la machine suivie de tout son train exécute sa progression.

Dans les cas ordinaires, l'adhérence de deux roues suffit ; surtout avec les machines dont le poids est réparti de telle sorte que les deux roues adhérentes en portent environ les deux tiers. Quand on veut avoir une force d'adhérence plus considérable, on fait les quatre roues égales. Alors on peut, au besoin, attacher ensemble les deux roues du même côté par des bielles métalliques placées en dehors de ces roues. Une de ces bielles est représentée dans la figure 6. C représente le prolongement de l'essieu en dehors de la roue. La pièce *Co* est attachée sur ce prolongement de l'essieu et tourne nécessairement avec lui. Le point *o* est un bouton à rotule, c'est-à-dire un bouton sphérique qui tourne dans un emplacement ménagé exprès dans l'intérieur du renflement de la bielle. *m* est un godet à syphon rempli d'huile et qui laisse couler goutte à goutte cette huile dans le joint. Les deux pièces *nn* sont des clefs destinées à allonger ou raccourcir plus ou moins la bielle. Cette bielle à son autre bout est d'une forme exactement pareille et s'unit de la même manière à l'extrémité de l'autre essieu. Il s'ensuit que quand la roue ou l'essieu C tourne, il entraîne avec lui la manivelle *Co*,

et ainsi communique le même mouvement à l'autre extrémité de la bielle, et par celle-ci à la manivelle du second essieu. Ainsi le mouvement du mécanisme se communique des deux roues de derrière aux deux autres auparavant libres, et la machine adhère désormais par ses quatre roues.

Afin que, dans son mouvement, la machine ne puisse glisser latéralement de dessus les rails, qui, comme on sait, sont des barres de fer saillantes au-dessus du terrain, les roues ont à leur côté intérieur un rebord ou mentonnet qui empêche tout mouvement latéral. Pour que d'autre part ce rebord ne soit pas exposé à frotter constamment sur le côté du rail, la bande de roue n'est pas tout à fait cylindrique, elle est au contraire légèrement conique. Son diamètre est un peu plus grand du côté du mentonnet que du côté extérieur, d'où résulte que si la machine est par exemple poussée à gauche en ce moment, la roue de gauche marchant alors sur sa partie la plus large tend à avancer un peu plus vite que la droite, et par conséquent ramène la machine dans sa vraie place moyenne entre les rails. On reconnaît cette forme des roues dans la figure 2.

§ 4. *Des soupapes de sûreté.*

Les trois points précédents forment le fondement du jeu de la machine. Les autres pièces ne sont qu'accessoires, c'est-à-dire ne sont destinées qu'à faire agir les premières.

La chaudière a deux soupapes de sûreté E, F (fig. 1), dont l'une est quelquefois enfermée dans une boîte pour la mettre hors de la portée du machiniste. Le but de cette précaution est d'empêcher le machiniste de surcharger cette soupape, comme il est souvent tenté de le faire pour obtenir de la machine un plus grand effet, même au risque de l'endommager. Généralement on renonce à cette précaution à cause de son incommodité.

§ 5. *Du niveau d'eau.*

Il y a également affixé à la machine un niveau pour montrer à quelle hauteur l'eau s'élève dans la chaudière. C'est un tube de verre *mn* (fig. 7), encastré à ses deux extrémités dans deux viroles à robinet *aa* communiquant avec l'intérieur de la chaudière et sortant au dehors, comme on le voit dans la figure. Lorsqu'on ouvre les deux robinets *rr* qui sont au haut et au bas du tube, l'eau pénètre dans ce tube et y prend le niveau qu'elle a dans l'intérieur. Le robinet S est destiné à laisser ensuite écouler cette eau. Cet instrument indique au ma-

chiniste quand l'appareil a besoin d'être alimenté par la pompe. Comme cependant les tubes et les autres parties de la chaudière commencent à souffrir, c'est-à-dire sont sujets à se crevasser ou à se dessouder dès que l'eau se trouve trop basse dans la machine, il y a pour plus de sûreté sur le côté de la chaudière deux et quelquefois trois petits robinets placés à différentes hauteurs. On peut, en les ouvrant successivement, s'assurer encore plus positivement du niveau de l'eau dans l'intérieur.

S'il est indispensable de connaître à quelle hauteur s'élève l'eau dans la chaudière, il n'est pas moins nécessaire de savoir à quel degré de force élastique s'y trouve la vapeur; car si cette force élastique est trop faible, la machine sera incapable d'accomplir sa tâche; mais comme ce point exige quelques développements, nous en ferons plus loin l'objet d'un chapitre particulier.

§ 6. *Des tiroirs.*

Il reste un autre objet important à éclaircir. Nous avons dit que la soupape à tiroir admet successivement la vapeur au-dessus et au-dessous du piston de chaque cylindre, d'où résulte le mouvement alternatif qui est la source du mouvement définitif de progression de la machine. Le machiniste ayant ouvert le régulateur, ou robinet qui donne admission à la vapeur dans les conduits, cette va-

peur arrive de la chaudière par le tuyau *v* (fig. 8) dans la boîte à soupapes; et pressant avec toute sa force sur la partie supérieure *x* du tiroir, elle l'oblige de rester en contact immédiat avec la face plane sur laquelle il glisse en exécutant son mouvement. Lorsque le tiroir est dans la situation où il est représenté dans la figure, cette vapeur prend la route 1, vient agir au-dessus du piston et le pousse dans la direction de la flèche. Pendant ce temps la vapeur qui existait au-dessous du piston s'échappe par le conduit 2 qui communique alors à l'extérieur au moyen du passage de sortie *e*. Lorsque ce premier effet est terminé, le tiroir est poussé par le moyen de sa tige *l* dans la position marquée par les lignes ponctuées. Alors c'est au contraire le conduit 2 qui se trouve ouvert à la vapeur venant de la chaudière. Elle pousse donc le piston en sens opposé à son premier mouvement, tandis que le conduit 1, communiquant à son tour avec l'ouverture *e*, donne une libre sortie à la vapeur qui a terminé son effet. Le mouvement se continue ainsi, le tiroir passe d'une position à l'autre et par là ouvre et ferme successivement les passages pour que la vapeur agisse tour à tour au-dessus et au-dessous du piston. Ensuite cette vapeur est conduite dans la cheminée, comme on aura occasion de l'expliquer plus loin, pour y accroître le courant d'air destiné à attiser le feu.

Le mouvement du tiroir est réglé de telle sorte que tout en accompagnant le mouvement du pis-

ton, il le précède cependant d'un très-court instant, c'est-à-dire qu'au lieu d'ouvrir le passage convenable à la nouvelle course du piston, juste au moment que le piston va commencer cette course, il l'ouvre un peu à l'avance. Par ce moyen, dans l'instant que le piston commence son mouvement, la vapeur a déjà pleine action sur lui. Nous aurons occasion de revenir sur ce point, et nous verrons que cette disposition, favorable à la vitesse de la machine, peut s'employer sans désavantage dans certaines limites; mais qu'au delà elle finit par nuire à la charge que peut conduire la machine.

§ 7. *Des excentriques.*

Le jeu alternatif du tiroir est exécuté par la vapeur elle-même. L'intelligence de ce point exige quelque attention.

Un excentrique est attaché à l'essieu, et à mesure que celui-ci tourne, l'excentrique entraîné dans son mouvement pousse et tire alternativement la tige du tiroir.

Les figures 9 et 10 représentent cet effet. Le point O est le centre de l'essieu dont on voit ici la coupe hachée. Le point *m* est le centre de l'excentrique qui est haché en sens contraire. On voit que cet essieu en tournant entraîne l'excentrique avec lui et par conséquent fait décrire au point *m* un cercle autour du point O. Dans ce mouvement, le point *m* pas-

sant successivement à droite et à gauche du centre O, doit nécessairement pousser et tirer la tige L, laquelle agit sur les tiroirs.

D'autre part, le point C représentant le bout de la manivelle, ou la coudure de l'essieu qui est mise en jeu par le piston, on reconnaîtra que lorsque la vapeur en poussant le piston d'un bout à l'autre du cylindre fait faire un demi-tour à cette manivelle, l'essieu O fait aussi une demi-révolution autour de lui-même; donc le point *m* décrit une demi-circonférence autour de ce point O et par conséquent l'excentrique pousse la tige *l* du tiroir d'une de ses positions extrêmes à l'autre, c'est-à-dire d'un bout de sa course à l'autre.

Ainsi placé donc par cette première opération, le tiroir admet maintenant la vapeur sur le côté opposé du piston. Ce piston recule, fait faire un nouveau demi-tour à l'essieu, et par là le tiroir se trouve ramené à sa position primitive qui convient à la nouvelle course; et ainsi de suite.

L'effet de tirer et pousser alternativement la tige du tiroir au moyen du mouvement de rotation de l'excentrique est exécuté par le moyen d'un anneau de métal *n n* fixé au bout de la tige, et dans lequel l'excentrique tourne à frottement doux. Par cet arrangement à mesure que le grand rayon de l'excentrique passe en tournant d'un côté à l'autre du centre, il conduit avec lui la tige attachée à cet anneau, et lui communique le mouvement alternatif.

On voit que l'excentrique fait ici l'effet d'une manivelle ordinaire pour transformer le mouvement circulaire de l'essieu en un mouvement de va-et-vient appliqué au tiroir, sur le principe opposé à celui qui change le mouvement alternatif du piston en un mouvement circulaire appliqué à l'essieu de la machine; mais l'excentrique dispense de la coudure qu'il aurait fallu faire à l'essieu pour y établir une manivelle.

Comme cependant par la disposition de la machine la tige des tiroirs ne se trouve pas dans le même plan que l'essieu de la machine, l'excentrique ne communique pas directement le mouvement à la tige même du tiroir. Mais il le lui communique par l'intermédiaire d'un levier à balancier L'K*l'* dont le point fixe est en K, et qui fait que quand l'excentrique recule, la tige du tiroir avance, et ainsi alternativement, comme on le voit sur la figure.

La comparaison des figures 9 et 10, entre lesquelles la différence est d'un quart de révolution, rendra ces effets complétement intelligibles.

En examinant le jeu du tiroir (fig. 10), on voit que lorsqu'il passe d'une de ses situations à l'autre et qu'il se trouve juste dans une position moyenne, il y a un instant où tous les passages de la vapeur se trouvent fermés à la fois. Cet effet a lieu dans le moment que le tiroir change les passages de la vapeur et correspond au point où le piston change sa direction. Cette coïncidence ne peut avoir lieu

que parce que, à cela près de la petite avance du tiroir, le rayon de l'excentriqne est à angle droit sur le rayon de la manivelle. En effet, alors le tiroir est nécessairement dans sa position moyenne, c'est-à-dire changeant les communications de la vapeur, en même temps que le piston est au fond du cylindre, prêt à changer aussi la direction de son mouvement. Cette corrélation de mouvements se voit clairement dans la figure.

L'avantage particulier de cette disposition de l'excentrique à angle droit sur la manivelle, est que cet excentrique se trouve dans sa pleine course quand la manivelle se trouve sur son centre, ou le piston au fond du cylindre; c'est-à-dire que le tiroir est dans son mouvement le plus rapide dans l'instant qu'il doit ouvrir ou fermer les passages, ce qui est nécessaire pour qu'il n'y ait pas de temps perdu dans l'effet alternatif de la vapeur.

§ 8. *Des directeurs du mouvement.*

Nous avons parlé jusqu'à présent comme s'il n'y avait qu'un tiroir, mais comme nous avons dit qu'il y a deux cylindres, il est évident qu'il faut un tiroir et par conséquent un excentrique pour chacun d'eux. D'autre part les deux pistons alternant l'un sur l'autre dans leur mouvement, c'est-à-dire agissant sur deux manivelles perpendiculaires entre elles, comme on l'a expliqué, les rayons des deux excentriques doivent nécessaire-

ment aussi être à angle droit l'un sur l'autre. On reconnaît cette disposition dans les figures 11 et 12 qui montrent de face la pièce formant les deux excentriques. Elle s'y trouve pour plus de clarté indiquée par des hachures.

Cette pièce doit, comme on l'a dit, se mouvoir avec l'essieu et être entraînée par lui. Cependant si elle était irrévocablement fixée sur l'essieu, sa position pourrait bien convenir au cas où la machine doit marcher en avant, et non à celui où elle doit aller en arrière, car on va voir que pour ces deux mouvements l'excentrique doit être fixé dans deux positions différentes.

Cette pièce est donc mobile sur l'essieu comme une poulie sur son axe, mais elle peut lui être liée à volonté. A cet effet, ses faces latérales portent deux ouvertures ou yeux représentés en O et O′, et l'essieu lui-même porte deux cames *r r′* que nous appellerons les directeurs du mouvement. La pièce excentrique se trouvant placée sur l'essieu entre ces deux directeurs, il est facile en la poussant au moyen d'un levier soit contre l'un, soit contre l'autre, jusqu'à ce que ce directeur embraye dans l'œil qui lui est réservé, de faire en sorte que dès ce moment la pièce excentrique se trouve entraînée par l'essieu. Si de plus ces deux directeurs sont placés de telle sorte que l'un convienne au mouvement progressif et l'autre au mouvement rétrograde de la machine, on pourra, en désengageant la pièce excentrique de l'un pour la porter sur

l'autre, faire marcher la machine soit en avant, soit en arrière, à volonté.

Il n'est pas difficile de trouver la position que doit avoir l'excentrique sur l'essieu, soit pour le mouvement progressif, soit pour le mouvement rétrograde.

Supposons qu'en poussant doucement la machine le long des rails on amène l'un des pistons à se trouver juste au milieu du cylindre, et que dans le même instant la manivelle sur laquelle agit ce piston se trouve dans sa position verticale juste au-dessus de l'essieu, comme on le voit dans la figure 3, il est clair que pour que la machine aille en avant, il faut que la vapeur pousse le piston en avant; car alors ce piston entraînera la manivelle et ainsi les roues dans la même direction. Il faut donc alors que le tiroir admette la vapeur par le conduit 1, ou que ce tiroir soit tiré en avant, comme on le voit représenté ici; ce qui, en se reportant à la figure 9, exige que le rayon de l'excentrique soit horizontal et placé en arrière de l'essieu. C'est donc en ce point que le directeur doit fixer cet excentrique pour le mouvement progressif.

La machine continuant d'être laissée dans la même position, supposons que l'on veuille au contraire la disposer pour le mouvement rétrograde. Il faut que la vapeur arrive sur la face opposée du piston, ou que le conduit 2 lui soit ouvert; ce qui suppose que le tiroir est poussé en

arrière et par conséquent que l'excentrique est en avant. C'est donc dans une position horizontale et en avant que doit être alors placé l'excentrique au moyen du directeur.

Cette position est précisément celle de la fig. 12. En y observant la manivelle de droite, on voit que tandis que cette manivelle est verticale et au-dessus de l'essieu, le directeur *r* de droite et l'œil qui le reçoit se trouvent en arrière et cachés par l'essieu. Ainsi l'excentrique se trouve horizontal et en avant, position qui, comme on vient de le voir, convient au mouvement rétrograde. Le directeur *r* est donc placé pour le mouvement rétrograde, puisqu'il tient l'excentrique dans cette situation.

Si l'on suppose au contraire que la pièce excentrique soit poussée contre l'autre directeur *r'*, l'œil correspondant de l'excentrique étant en O', c'est-à-dire n'étant pas en face du directeur, on voit que l'excentrique ne bougeant pas, l'essieu devra faire un demi-tour avant que le directeur puisse embrayer dans l'œil. Il s'ensuit donc que, continuant de considérer la manivelle de droite, elle se trouvera arrivée *en dessous* de l'essieu, tandis que l'excentrique sera toujours en avant, position qui convient au mouvement progressif; car elle est analogue à celle de la manivelle au-dessus de l'essieu et l'excentrique en arrière, que nous avons expliqué plus haut.

Ainsi l'on voit que les deux directeurs *r'* et *r* des

figures 11 et 12, étant à angle droit entre eux et à angle droit sur les manivelles de l'essieu, conviennent, l'une au mouvement progressif, l'autre au mouvement rétrograde.

Ces deux directeurs étant fixés à demeure sur l'essieu, l'un d'un côté, l'autre de l'autre de la pièce excentrique, il est clair qu'en poussant cette pièce au moyen d'un levier, soit sur l'un, soit sur l'autre des deux directeurs, l'effet de la vapeur sur le piston sera aussitôt de porter la machine, soit en avant, soit en arrière, selon le directeur où on l'aura embrayée. Le levier qui opère ce déplacement de la pièce excentrique présente son extrémité à portée du machiniste sur la planche de support où celui-ci se tient.

Outre ces dispositions diverses, afin que l'homme qui conduit la machine puisse au besoin mouvoir lui-même et à son gré les tiroirs indépendamment de tout mouvement de l'essieu, les tiges des excentriques ne sont pas invariablement attachées aux tiges des tiroirs. Elles sont seulement unies ensemble par une encoche que l'on voit en L′ sur les figures 13 et 14. Au moyen d'un levier qui agit sur la petite tringle *m′o*, le machiniste peut soulever les tiges des excentriques et dégager l'encoche, comme on le voit exécuté figure 14. Alors les tiroirs sont libres de se mouvoir indépendamment de l'essieu. Ainsi, il est facile, au moyen de deux poignées représentées en PP dans la figure 1, et communiquant avec les tiges des tiroirs, de

donner à ces tiroirs et à la main le mouvement que l'on veut.

§ 9. *Des Pompes.*

En dessous du corps de la machine, sont deux pompes *p*, fig. 1, qui servent à alimenter d'eau la chaudière. Chacune d'elles est située immédiatement au-dessous de la tige du piston de chaque cylindre; et c'est cette tige elle-même qui met en jeu le piston de la pompe en l'entraînant dans son mouvement. Chaque pompe aspire d'une part l'eau du convoi dans le corps de pompe, et de l'autre part la refoule du corps de pompe dans la chaudière, à la manière ordinaire. L'emploi de deux pompes assure l'alimentation de la chaudière, parce que si l'une se dérange, l'autre y supplée facilement.

Les soupapes de ces pompes sont ingénieusement formées d'une petite sphère métallique, reposant sur un siége circulaire où elle s'applique toujours hermétiquement. Leur jeu s'exécute par soulèvement dans un cylindre dont les parois sont percées de quatre ouvertures ou fenêtres pour le passage de l'eau. L'une de ces soupapes est représentée dans la figure 15. L'eau s'introduit en *a* par l'intérieur du cylindre, au-dessous de la balle sphérique qu'elle soulève, et se répand dans le corps de pompe par les fenêtres *b*, *b*. Cette forme de soupape ne manque jamais son effet, et les pompes qui étaient dans l'origine constamment

sujettes à se déranger ont cessé d'avoir ce défaut depuis que M. Melling, réparateur et constructeur de machines pour la compagnie de Liverpool, a imaginé de donner cette forme à leurs soupapes.

§ 10. *Du Régulateur.*

Le régulateur dont nous avons parlé plus haut, et par le moyen duquel on peut ouvrir plus ou moins le passage qui conduit de la chaudière aux cylindres, est représenté dans les figures 32 et 33. Il consiste simplement en deux disques hermétiquement superposés l'un à l'autre et ayant chacun une fenêtre d'égale grandeur. Le disque inférieur est immobile, et ferme le tuyau de sortie de la vapeur. Le disque supérieur est mobile au moyen d'un carré et d'une poignée T qui sort au dehors de la machine. La queue *r* du carré traverse le disque immobile et sert à centrer les deux disques ensemble. Dans la figure 32, ces deux disques sont distingués l'un de l'autre par des hachures en sens contraire. En faisant, au moyen de la poignée T, mouvoir circulairement le disque supérieur sur le disque inférieur, on voit qu'on peut amener les deux fenêtres à se trouver juste correspondantes l'une à l'autre comme dans la figure 32, et alors le passage est ouvert entièrement. Si on ne le tourne que partiellement comme le représente la situation ponctuée dans la figure 33, le passage n'est que partiellement ouvert, et lorsque les deux

fenêtres ne se correspondent nullement, toute communication est interceptée. Lorsque le passage est ainsi fermé, c'est la vapeur elle-même qui tient les deux disques en contact immédiat l'un avec l'autre en pressant avec toute sa force contre le disque supérieur.

On construit aussi ce régulateur différemment. Quelquefois on le fait de la forme d'un robinet ordinaire à deux voies, la vapeur arrivant par le haut; mais la disposition précédente est la plus employée.

§ 11. *Des Joints.*

Dans tous les joints de quelque importance, l'huile est entretenue sans interruption par le moyen d'un godet à syphon, placé au-dessus du joint, comme on le voit en *m* dans la fig. 6. Ce godet, fait dans la forme d'un encrier d'écolier, pour que la rapidité du mouvement ne puisse en jeter l'huile au dehors, porte au fond un petit tube qui pénètre jusqu'à l'entrée du joint. Une mèche de coton trempant d'une part dans l'huile du godet, passe ensuite dans ce tube. En formant syphon, cette mèche puise constamment l'huile dans le godet et la verse goutte à goutte dans le joint qu'elle humecte ainsi sans interruption.

§ 12. *De la Grille du foyer.*

Enfin la grille du foyer n'est pas une grille faite

d'une seule pièce. Elle est formée de barres séparées (fig. 31) que l'on place juxta-posées dans le fond du foyer, où elles sont supportées par leurs deux extrémités. Cet arrangement a l'avantage de pouvoir les remplacer individuellement par de neuves à mesure qu'elles sont corrodées par l'intensité du feu. En outre, s'il arrive quelque accident à la chaudière qui fait qu'elle perde l'eau rapidement, ce qui mettrait la machine en danger, on peut, au moyen d'un crochet, renverser facilement toutes ces barres, et par conséquent éteindre immédiatement le feu en le laissant tomber sur la route avec les barres qui le supportaient. C'est aussi de cette manière que tous les soirs on vide le foyer quand la machine a terminé son ouvrage.

§ 13. *De l'Emplacement de toutes les parties.*

Cette description se trouvera complétée en montrant sur l'ensemble de la machine représentée figures 1 et 2, l'emplacement des diverses parties dont nous venons de nous occuper.

A, Partie de la chaudière contenant le foyer.

BB, Planche ou plaque de support pour le machiniste et son aide.

C, Cheminée de la machine.

D, Emplacement des cylindres.

E, Première soupape de sûreté, à levier et balance, comme on l'expliquera plus loin.

F, Deuxième soupape de sûreté, construite de même.

G, Niveau d'eau.

H, Robinets de sûreté.

I, Bout de la tige de l'excentrique.

J, Guides horizontaux, entre lesquels glisse la tête de la tige du piston, pour assurer son mouvement dans l'exacte direction de l'axe du cylindre.

K, Levier à balancier qui communique le mouvement de la tige de l'excentrique à la tige du tiroir.

L′, Encoche d'embrayage de la tige de l'excentrique sur le balancier de la tige du tiroir.

MM, Verge au moyen de laquelle le machiniste peut soulever la barre de l'excentrique et la jeter hors de son embrayage avec le balancier du tiroir. Cet effet, comme on le voit, s'exécute au moyen du levier coudé *m m′*, qui soulève la tige *m′ o*, et ainsi la barre de l'excentrique.

N, Poignée à levier, au moyen de laquelle le machiniste tire la verge MM pour produire l'effet ci-dessus.

PP, Leviers à mouvoir les tiroirs quand ils ont cessé d'embrayer avec les excentriques. Ces leviers dont l'axe est en Q, font, comme on voit, mouvoir les deux branches RR, lesquelles au moyen des deux verges SS, entraînent dans le même mouvement les branches *rr;* et celles-ci étant liées aux tiges des tiroirs, leur communiquent l'impulsion des leviers à main PP.

T, Poignée du régulateur qui sert à ouvrir plus ou moins les conduits par lesquels la vapeur se rend de la chaudière aux cylindres.

V, Réservoir à vapeur, dans lequel cette vapeur vient s'amasser à mesure de sa formation, et se trouve prête à pénétrer dans les conduits des cylindres, aussitôt que le régulateur est ouvert.

U, Ouverture fermée par une forte plaque boulonnée, et propre à admettre un homme dans l'intérieur de la chaudière, quand quelque réparation l'exige.

XXX, Supports en fer par le moyen desquels le corps de la machine est porté sur les jumelles YY.

ZZ, Ressorts appuyant en *aa* sur les boîtes de roues, par le moyen de deux broches verticales qui traversent les jumelles. Ces ressorts servent ainsi à suspendre les jumelles YY et toute la machine qui repose sur ces jumelles.

bb, Guides entre lesquels la boîte de roue *a* peut monter ou descendre à mesure que le ressort plie plus ou moins sous le poids de la machine. La partie supérieure de cette boîte de roue porte elle-même un petit réservoir à l'huile, creusé dans son épaisseur. Il y a dans ce réservoir, comme dans les godets mentionnés plus haut, un tube et une mèche à syphon pour humecter constamment l'essieu à son point de frottement sur la boîte.

c, Tuyau flexible en tissu de chanvre, mais soutenu dans son intérieur par un ressort à

boudin, et par lequel l'eau arrive du convoi d'approvisionnement à la pompe de la machine, quand on ouvre un robinet fixé à ce convoi.

p, Pompe de la machine, laquelle est constamment mise en jeu par la tige même du piston, mais qui ne peut refouler de l'eau dans la chaudière que lorsqu'on a ouvert un robinet qui permet à l'eau du convoi d'arriver. Ce robinet n'a pas été figuré ici.

p', Poignée et tige du robinet de sûreté de la pompe, servant à s'assurer que l'eau arrive effectivement dans le corps de pompe. Ce petit robinet donne issue au dehors. Ainsi, quand il est ouvert, et que la pompe fait son effet comme elle le doit, on voit par son ouverture se faire un petit jaillissement d'eau qui indique que la pompe fonctionne bien.

ee, Tampon garni en crin et recouvert de cuir, pour amortir des chocs que peut donner ou recevoir la machine.

f, Robinet au moyen duquel on peut vider l'eau qui est entraînée quelquefois de la chaudière dans le cylindre.

g, Ouverture faite au double fond du foyer et fermée par un bouchon métallique taraudé. En retirant cette pièce on peut introduire dans l'ouverture un grattoir, et au moyen d'une pompe, injecter avec force de l'eau dans le double fond de la boîte du foyer. C'est ainsi qu'on en chasse les dépôts terreux que l'eau y laisse

constamment. Ce nettoyage s'exécute à peu près une fois par semaine.

h (fig. 2), plaque mobile ou porte qui ouvre l'intérieur du compartiment de la cheminée. On y voit alors à découvert l'extrémité des tubes de la chaudière, les cylindres, les tiroirs et les conduits qui amènent la vapeur de la chaudière aux boîtes à tiroirs, ainsi que ceux qui la conduisent des tiroirs à l'entrée de la cheminée, par où cette vapeur s'échappe dans l'atmosphère.

C'est cette porte qu'on ouvre lorsqu'on veut régler les tiroirs, comme nous le dirons plus loin.

ARTICLE II.

DES PROPORTIONS DES MACHINES.

§ 1er. *Des dimensions des parties d'où résulte le pouvoir de la machine.*

Telle est la construction des machines locomotives, employées sur le railway de Liverpool à Manchester. Ce sont celles qui ont exclusivement servi à nos expériences. Pour qu'on en ait une idée complète, il reste à donner les dimensions de quelques parties, dont dépend particulièrement la puissance de la machine, comme on le verra plus loin.

On peut ranger les machines du railway de Liverpool en cinq classes différentes que voici :

CLASSES	DIAMÈTRE du cylindre.	COURSE du piston.	ROUES.		POIDS.	PRESSION effective par pouce carré dans la chaudière.
	pouces.	pouces.	pieds.	pouc.	tonnes.	livres.
1re classe	14	16	4	6	12	50
2e. . . .	12	16	5		12	50
3e. . . .	11	16	5		8 à 9	50
4e. . . .	11	18	5		8 à 9	50

La cinquième classe se compose des premières machines employées par la compagnie lors de l'ouverture du railway. Elles ont des cylindres de dix pouces et au-dessous; la course du piston, les roues et le poids de la machine sont moindres dans des proportions analogues. Mais en ce moment elles ont à peu près cessé d'être en usage sur le railway; on les répare à peine, et l'on n'en verra figurer aucune dans nos expériences. C'est pourquoi nous ne nous y arrêterons pas.

Parmi les trente-deux machines qui ont été construites pour la compagnie, et dont elle possède encore trente, on en compte :

2 de 14 pouces (diamètre du cylindre).
4 de 12 pouces,
16 de 11 pouces, avec 16 pouces de course.
2 de 11 pouces, avec 18 pouces de course.

Les huit autres sont de proportions inférieures, et sont celles de la cinquième classe dont nous avons parlé plus haut.

Toutes sont à la pression effective de 50 lb. par pouce carré dans la chaudière.

En mesures françaises, les mêmes dimensions des machines de Liverpool, sont :

CLASSES.	DIAMÈTRE du cylindre.	COURSE du piston.	DIAMÈTRE de la roue.	POIDS.	PRESSION effective en kilogram. par centimètre carré dans la chaudière.
	centimèt.	centimèt.	mètre.	tonn.	kilogram.
1re classe	35,6	40,6	1,37	12	3,6
2e. . . .	30,5	40,6	1,53	12	3,6
3e. . . .	27,9	40,6	1,53	8 à 9	3,6
4e. . . .	27,9	45,7	1,53	8 à 9	3,6

A mesure que nous ferons usage des machines nous en donnerons plus particulièrement le nom, le poids et les dimensions importantes.

§ 2. *De l'énonciation de la force des locomotives.*

C'est d'après ces dimensions qu'on a coutume d'énoncer le pouvoir des machines à vapeur locomotives. Nous verrons dans le cours de cet ouvrage que pour que cette énonciation de force fût complète, et devînt réellement suffisante pour donner l'effet de la machine en toute circonstance, il faudrait y ajouter deux autres éléments encore : le frottement de la machine sans charge, et le pouvoir de vaporisation ou la surface de chauffe de la chaudière. Neanmoins telles qu'elles sont,

elles donnent déjà une idée assez exacte de la force des locomotives.

Quant au mode employé pour les machines à vapeur stationnaires et qui consiste à exprimer leur force par leur effet produit, en l'assimilant au travail qu'exécuterait un cheval, on comprendra facilement qu'il est inapplicable à l'égard des locomotives.

Ce mode ne peut leur convenir, 1° parce que le pouvoir d'une locomotive ne dépend pas uniquement de la force produite par sa vapeur. Il dépend aussi de son poids, lequel produit une adhérence plus ou moins grande de la machine sur les rails, et par conséquent la locomotion d'une charge plus ou moins considérable. 2° Parce que cette machine doit marcher à des vitesses variables. Or, outre le poids de sa charge, elle doit encore se mouvoir elle-même en surmontant son propre frottement. Ce frottement s'introduisant donc comme une masse constante dans la résistance, dont il doit toujours être déduit avant tout, modifie selon chaque vitesse ce qui reste à la machine de pouvoir définitif applicable à la charge. Il en résulte que si l'on voulait exprimer la force de la machine par son effet produit, on trouverait cette mesure différente pour chaque vitesse à laquelle on considérait la machine. 3° Enfin, parce que les machines locomotives marchant à des vitesses triples et quadruples de celles dont sont capables les chevaux, ce ne serait que par

une fiction inintelligible qu'on voudrait les assimiler à des chevaux.

§ 3. *Dimensions du foyer et de la chaudière de douze des meilleures machines du railway de Liverpool à Manchester.*

D'après la remarque que nous avons faite plus haut, et dont on trouvera la confirmation dans la suite de cet ouvrage, toute énonciation de force d'une machine devient illusoire si l'on ne donne en même temps sa force de vaporisation, ou la surface de chauffe de sa chaudière. C'est en effet dans le foyer et la chaudière que réside la véritable source de la puissance d'une machine. C'est de là que résulte tout effet produit. Les cylindres et les autres parties sont les moyens de transmettre et de modifier une force, mais quel serait leur effet si cette force n'existait pas ?

Pour compléter donc l'ensemble des proportions énoncées plus haut, nous allons donner ici un tableau des dimensions du foyer et de la chaudière dans les machines dont nous aurons à nous occuper. Plus tard nos expériences nous mettront à même de remplacer cette donnée complexe par le simple énoncé de la force de vaporisation de ces mêmes machines.

Les deux colonnes importantes de ce tableau sont celles qui expriment la surface exposée à l'action du calorique, soit rayonnant, soit de communication.

Dimensions du foyer et de la chaudière de douze pool à

NOM ET NUMÉRO de la machine.	DIAMÈTRE du cylindre.	LONGUEUR de la course du piston.	DIAMÈTRE de la chaudière.	LONGUEUR de la chaudière et des tubes.	NOMBRE des tubes.	DIAMÈTRE des tubes.
	pouces.	pouces.	pieds.	pieds.		pouces.
SAMSON, n° 13	14	16	3,50	7	140	$1\frac{5}{8}$
JUPITER, n° 14	11	16	2,75	6,50	79	*id.*
GOLIATH, n° 15	14	16	3,50	7	132	*id.*
VULCAN, n° 19	11	16	3	6,50	107	*id.*
FURY, n° 21	11	16	3	6,50	107	*id.*
VICTORY, n° 22	11	16	3	6,75	97	*id.*
ATLAS, n° 23	12	16	3	7,88	65	*id.*
VESTA, n° 24	$11\frac{1}{8}$	16	2,75	7	80	*id.*
LIVER, n° 26	11	16	3	6,50	97 { 70 27	$1\frac{3}{4}$ $1\frac{3}{8}$
AJAX, n° 29	11	18	2,75	6,66	63	2
LEEDS, n° 30	11	16	3	6,50	107	$1\frac{5}{8}$
FIREFLY, n° 31	11	18	3	7,50	110	*id.*

des meilleurs machines du railway, de Liver-Manchester.

SUPERFICIE de la caisse du foyer, ou surface exposée à l'action du calorique rayonnant.	SUPERFICIE des tubes, ou surface exposée au contact de l'air chaud.	AIRE de la grille du foyer.	QUANTITÉ de combustible contenue dans le foyer, jusqu'à hauteur de la dernière rangée des tubes.	DIAMÈTRE de la cheminée.	OBSERVATIONS.
pieds carrés.	pieds carrés.	pieds carrés.	pieds cubes.	pouces.	
40,20	416,90	7,50	10,87	12,50	On refait cette machine en ce moment.
36,06	226,80	6,08	11,12	12	
40,31	407	7,50	10,87	12,50	
34,45	307,38	6,50	7,64	13,50	
32,87	307,38	6,12	8,13	13,50	Les tubes de cette machine sont très-minces.
37,63	278,53	6,27	11,47	13,50	
57,06	217,88	9,20	13,06	12	
46	256,08	7,06	11,72	11,50	
39,66	284,01	8,11	12,48	13,50	
32,64	228,14	6,08	8,32	13,50	
34,57	307,38	6,19	8,23	13,50	
43,91	362,60	7,16	14,30	13,50	En ce moment on change le foyer de cette machine.

MÊME TABLEAU

Dimensions du foyer et de la chaudière de douze pool à

NOM ET NUMÉRO de la machine.	DIAMÈTRE du cylindre.	LONGUEUR de la course du piston.	DIAMÈTRE de la chaudière.	LONGUEUR de la chaudière et des tubes.	NOMBRE des tubes.	DIAMÈTRE des tubes.
	centimètres.	centimètres.	mètres.	mètres.		centimètres.
SAMSON, n° 13	35,6	40,6	1,068	2,135	140	4,1
JUPITER, n° 14	27,9	40,6	0,839	1,983	79	4,1
GOLIATH, n° 15	35,6	40,6	1,068	2,135	132	4,1
VULCAN, n° 19	27,9	40,6	0,915	1,983	107	4,1
FURY, n° 21	27,9	40,6	0,915	1,983	107	4,1
VICTORY, n° 22	27,9	40,6	0,915	2,059	97	4,1
ATLAS, n° 23	30,5	40,6	0,915	2,402	65	4,1
VESTA, n° 24	28,3	40,6	0,859	2,134	86	4,1
LIVER, n° 26	27,9	40,6	0,915	1,983	97 { 70 27	4,4 3,5
AJAX, n° 29	27,9	45,7	0,839	2,031	63	5,1
LEEDS, n° 30	27,9	40,6	0,915	1,983	107	4,1
FIREFLY, n° 31	27,9	45,7	0,915	2,288	110	4,1

EN MESURES FRANÇAISES.

des meilleurs machines du railway, de Liver-Manchester.

SUPERFICIE de la caisse du foyer, ou surface exposée à l'action du calorique rayonnant.	SUPERFICIE des tubes, ou surface exposée au contact de l'air chaud.	AIRE de la grille du foyer.	QUANTITÉ de combustible contenu dans le foyer jusqu'à hauteur de la dernière rangée des tubes.	DIAMÈTRE de la cheminée.	OBSERVATIONS.
mètres carrés.	mètres carrés.	mètres car.	mètres cubes.	mètres.	
3,735	38,729	0,697	0,309	0,318	On refait cette machine en ce moment.
3,354	21,069	0,565	0,314	0,305	
3,744	37,809	0,697	0,309	0,318	
3,205	28,557	0,604	0,216	0,343	
3,056	28,557	0,569	0,230	0,343	Les tubes de cette machine sont très-minces.
3,493	25,872	0,582	0,326	0,343	
3,301	20,240	0,855	0,371	0,305	
4,273	23,789	0,656	0,332	0,292	
3,688	26,383	0,753	0,354	0,343	
3,029	21,190	0,565	0,236	0,343	
3,214	28,557	0,575	0,233	0,343	
4,078	33,685	0,665	0,405	0,343	En ce moment on change le foyer de cette machine.

On verra plus loin qu'avec ces dimensions et cette forme de chaudière, les machines peuvent réduire en vapeur à peu près 1 pied cube d'eau par minute; ou 1 livre d'eau par seconde, à la pression effective dans la chaudière de 50 livres par pouce carré.

En mesures françaises, elles peuvent vaporiser 1,70 mètres cubes d'eau par heure, à la pression effective de 3,6 kilogrammes par centimètre quarré.

En comparant entre elles les surfaces de chauffe, c'est-à-dire l'étendue de surface exposée dans chaque machine à l'action de la chaleur, on doit faire une grande différence entre les surfaces soumises à l'action immédiate et rayonnante du feu, et celles qui ne reçoivent la chaleur que par communication, dans le passage de l'air chaud du foyer vers la cheminée. On trouve dans l'ouvrage de Wood une expérience faite par M. Robert Stephenson, de laquelle il résulte que les deux effets sont entre eux dans le rapport de 3 à 1. Les circonstances ne nous ont pas permis de la répéter.

L'expérience fut faite avec une chaudière pareille à celles décrites plus haut, mais dont la partie supérieure avait été enlevée et dans laquelle l'eau soumise à l'action directe du feu, était séparée de celle qui ne reçoit que la chaleur communicative. La caisse du foyer avait une surface de 6 pieds carrés exposée à l'action immédiate du feu. Les tubes qui traversaient la chaudière présentaient à la chaleur de communica-

tion une surface de 24 $\frac{1}{2}$ pieds carrés. Le feu ayant été allumé, l'eau arriva au point d'ébullition en même temps dans les deux vases, savoir, en 30 minutes. Après que cette ébullition eut duré 38 minutes, on arrêta l'opération. La caisse du foyer avait perdu six gallons d'eau, et les tubes de la chaudière en avaient vaporisé huit. D'après les proportions relatives des deux surfaces, on voit que dans le même temps chaque pied carré de surface exposée à l'action du calorique rayonnant avait vaporisé 1 gallon d'eau; et chaque pied carré de surface exposée au contact de l'air chaud avait vaporisé $\frac{1}{3}$ de gallon. On peut regarder cette expérience comme satisfaisante, du moins pour les appareils de chaudière semblables à ceux décrits plus haut.

§ 4. *Des machines locomotives anciennes.*

La description que nous avons donnée plus haut s'applique aux machines les plus puissantes qui aient été construites jusqu'à présent. Cette forme est exclusivement adoptée sur le railway de Liverpool à Manchester.

Sur d'autres lignes on en trouve d'une construction différente. Comme après le chemin de fer de Liverpool, celui de Stockton à Darlington est le plus important de l'Angleterre, il est bon de donner ici une idée des machines en usage sur ce railway.

La compagnie possède 23 locomotives de plu-

sieurs modèles, depuis les plus arriérés jusqu'aux plus récents.

Dans quelques-uns le feu traverse la chaudière dans un simple tube qui sert de foyer et aboutit immédiatement à la cheminée; dans d'autres, ce tube fait un retour sur lui-même dans la chaudière avant d'arriver à la cheminée, et celle-ci se trouve alors placée à côté de la porte du foyer. D'autres fois ce tube se subdivise au bout de la chaudière et fait son retour par deux autres plus petits. On en voit où, le feu étant toujours placé dans un conduit intérieur, la flamme fait retour vers la cheminée au moyen d'une centaine de petits tubes en cuivre, sur un principe analogue à celui des machines de Liverpool. Enfin il y en a trois du modèle même de Liverpool.

La compagnie transporte des voyageurs et des marchandises. Le premier de ces transports se fait à la vitesse de 12 milles ou 19 kilomètres par heure, et le second à la vitesse de 8 milles ou 13 kilomètres par heure. Des différentes formes de chaudières, les seules qui puissent convenir au premier service sont celles à tubes. Les autres ne peuvent produire la quantité nécessaire de vapeur. Mais pour la vélocité de 8 à 9 milles par heure et pour des trains moyens de 24 wagons, qui en remontant la ligne à vide, forment une charge à peu près équivalente à 60 tonnes sur niveau, on trouve que les chaudières les plus convenables sont celles à un tube de retour. Elles produisent pour ce ser-

vice une quantité suffisante de vapeur et ont l'avantage d'être peu dispendieuses pour l'achat et les réparations, ayant une forme si simple et étant tout entières construites en fer, tandis que les chaudières à tubes exigent l'emploi du cuivre.

Outre cette différence dans la forme des chaudières, il y en a également dans les autres parties de la machine. Les cylindres sont placés en dehors et dans une position verticale. Le mouvement ne se communique pas du piston à la machine par une coudure de l'essieu, mais par une bielle extérieure à la roue, qui a son point d'appui sur un des rais. Ces machines ont presque toutes six roues égales de 4 pieds de diamètre. Deux d'entre elles sont mises en mouvement par la vapeur, comme on vient de l'expliquer, et les quatre autres sont unies aux premières par des bielles de communication qui les font agir toutes ensemble.

Le poids de ces machines varie. Hors les trois que nous avons dites être du modèle de Liverpool, et qui ne pèsent que 5 tonnes et demie environ, le poids moyen des autres est de 10 à 12 tonnes.

Toutes sont portées sur ressorts. Quelques-unes des plus anciennes n'en avaient d'autres que l'eau de la chaudière, faisant effort sur de petits pistons mobiles, et pressée elle-même par la vapeur contenue dans cette chaudière. Mais tout ingénieux que ce moyen paraisse au premier abord, le ressort qu'il formait était trop variable pour convenir; on a dû y renoncer.

Les proportions ordinaires adoptées pour les machines sur ce railway, sont les suivantes :

	En mesures anglaises.		En mesures françaises.
Cylindres.	14 $\frac{1}{2}$	pouces.	36, 8 centimètres.
Course. . .	16	*Id.*	40, 6 *Id.*
Roues . . .	4	pieds.	1, 22 mètres.
Poids. . . .	11	tonnes.	11 tonneaux.
Pression. .	48	lb. par pouce carr. . .	3^{k}, 36 par cent. carr.

On fait toutefois varier la pression selon l'état de solidité que l'on reconnaît à la chaudière. Quand les feuilles en deviennent très-minces, on réduit quelquefois la pression jusqu'à 36 lb. seulement par pouce quarré ; avec d'autres on l'augmente au contraire jusqu'à 60 lb.

CHAPITRE DEUXIÈME.

DE LA PRESSION DANS LES MACHINES A VAPEUR.

ARTICLE PREMIER.

DE LA PRESSION CALCULÉE D'APRÈS LES LEVIERS ET LA BALANCE DE LA SOUPAPE.

§ 1. *Du principe sur lequel est basée cette détermination.*

Quand un fluide élastique est enfermé dans un vase clos, il exerce en tous sens sur les parois de ce vase une pression qui résulte de sa force élastique et qui donne l'exacte mesure de cette force. Si dans ce moment le vase est rempli de vapeur et qu'à chaque instant on y en fasse entrer une nouvelle quantité, la force élastique de cette vapeur augmentera de plus en plus, et partant, la pression qu'elle exerce sur chaque unité de surface des parois. Si donc en un point de ces parois, il existe une ouverture fermée hermétiquement

par une pièce mobile, laquelle soit chargée d'un poids déterminé, il est clair que dès que la vapeur enfermée dans le vase exercera sur cette plaque mobile une pression égale à celle du poids qui la retient en sens contraire, la plaque commencera à être repoussée. Le passage sera donc ouvert, et la vapeur en s'élançant par l'ouverture prouvera que sa pression était égale au poids qui chargeait la soupape.

Il faut observer cependant que la résistance qui s'oppose à la sortie de la vapeur ne consiste pas seulement dans le poids qu'on a placé sur la soupape. Outre ce poids, l'atmosphère exerce encore sur cette soupape, comme sur tout autre corps avec lequel cette atmosphère est en contact, une certaine pression. Elle est comme on sait de $14^{lb},7$ par pouce carré en mesures anglaises, ou 1,033 kilogramme par centimètre carré en mesures françaises. C'est donc le poids joint à la pression de l'atmosphère qui donnera la mesure réelle de la force élastique de la vapeur; tandis que le poids seul ne représente que l'excès de la pression réelle sur la pression atmosphérique, ou ce qu'on nomme aussi la pression *effective* de la vapeur. Ainsi, lorsqu'une soupape a 5 pouces carrés de surface et porte un poids de 250 livres, qui, réparti entre les 5 pouces carrés donne une résistance par pouce de 50 lb., on voit que 50 lb. exprime la pression *effective* de la vapeur, évaluation dont on se sert fréquemment à cause de sa commodité

dans les calculs, mais que 64^{lb},7 est la véritable résistance opposée et par conséquent la pression réelle de la vapeur.

C'est sur ce principe que sont établis les moyens de juger de la pression dans les machines locomotives. Cependant comme on veut que ces machines travaillent au moins à 50 lb. de pression effective par pouce carré, et comme, pour donner, au besoin, issue à toute la vapeur qui se forme dans la chaudière, une soupape ne peut avoir moins de 2 pouces $\frac{1}{2}$ de diamètre ou 5 pouces carrés de surface, on voit que si l'on voulait appliquer directement un poids sur la soupape, il devrait être de 250 lb. Un tel poids rendrait fort difficile ensuite de lever cette soupape à la main, comme cela est nécessaire dans le service de la machine, et en particulier pour s'assurer que la soupape n'a pas contracté adhérence avec la chaudière, ce qui la rend inutile.

On a donc dû exercer cette pression au moyen d'un levier, car on voit que si ce levier est divisé dans la proportion de 5 à 1 par exemple, un poids de 50 lb. suspendu à son extrémité suffira pour produire la pression désirée, sans offrir les inconvénients d'un poids considérable à mouvoir. En outre, comme dans la marche rapide des machines un poids suspendu au bout d'un levier sautait continuellement, et par conséquent ne faisait qu'ouvrir et fermer continuellement la soupape, on a dû encore remplacer ce poids par un ressort; et

c'est de cette manière qu'on construit actuellement ces soupapes.

§ 2. *Des leviers et de la balance de la soupape.*

Il est aisé de reconnaître qu'il est impossible d'établir aucun calcul exact sur le pouvoir des machines locomotives, sans connaître au juste la pression de la vapeur dans la chaudière, puisque c'est l'intensité de la force motrice du mouvement. Si l'on s'en rapportait à la pression *nominale* de la machine, c'est-à-dire celle déclarée par le constructeur, on courrait risque de grandes erreurs : car il arrive quelquefois que pour donner à une locomotive l'apparence d'exécuter plus que les autres, quoiqu'à la même pression, on annonce sa pression comme étant de 50 lb. par pouce carré, par exemple, tandis qu'elle est réellement de 60 ou de 70 lb. D'ailleurs, le calcul de la pression est fait ordinairement d'une manière si incorrecte, qu'on ne peut guère y avoir confiance.

C'est pourquoi nous avons dû nous livrer à une étude particulière de cette partie de notre sujet.

Nous allons d'abord donner la manière de connaître la pression d'après le pesage et la mesure de diverses parties de la machine, pour le cas où l'on n'a pas de manomètre. Nous montrerons ensuite quelques causes d'erreurs qui échappent à ce mode de calcul et qui sont évitées par le moyen du manomètre à mercure. Et enfin nous ferons voir les

incertitudes de cet instrument lui-même, et nous en proposerons un autre pour le remplacer.

Nous avons dit qu'on se sert d'un levier pour exercer sur la soupape une grande pression, sans être embarrassé d'un poids considérable. M (fig. 16) étant la chaudière et S la soupape, le point C est un point fixe où est attachée l'une des extrémités du levier BC. Au point A ce levier presse sur la soupape par le moyen d'un pivot, et au point B il porte un poids, ou plutôt il est tiré par un ressort équivalent à un poids donné.

Connaissant le diamètre de la soupape, les proportions du levier et le poids suspendu au point B, ou du moins le poids qui représente la tension du ressort, il est facile d'en déduire la pression résultante sur chaque unité de surface de la soupape. Réciproquement, il est facile de savoir aussi quel poids il faut appliquer au point B pour produire en A une pression déterminée. Car si P représente le poids suspendu en B, ce poids exercera en A une pression $P \times \frac{BC}{AC}$, qui sera par conséquent la pression totale exercée sur la soupape; et si S représente la surface de cette soupape, $\frac{P \times \frac{BC}{AC}}{S}$ sera la pression exercée sur chaque unité de surface de la soupape.

Les leviers et soupapes employés par les différents constructeurs de machines ont des propor-

tions fort diverses. Mais parmi ces proportions il en est une, d'abord employée par M. Edward Bury, de Liverpool, et qui jouit sur les autres combinaisons de ce genre d'un avantage incontestable. Ce mode consiste à choisir, pour la proportion des deux bras de levier entre eux, le rapport même de l'aire de la soupape à l'unité de surface. Par ce moyen le poids P suspendu en B donne immédiatement la pression exercée par unité de surface sur la soupape. Supposons en effet qu'on veuille établir une soupape de $2\frac{1}{2}$ pouces de diamètre, ce qui fait à très-peu près 5 pouces carrés de surface, et qu'on ait en conséquence pris les deux bras de leviers dans la proportion de 5 à 1, c'est-à-dire qu'on ait $\frac{BC}{AC} = \frac{5}{1}$; P exprimant le poids suspendu en B, il est clair que la pression qu'il exercera en A sera $P \times \frac{BC}{AC} = 5\ P$. Ce sera par conséquent le poids total sur la soupape, et puisque celle-ci a 5 pouces carrés de surface, le poids ou pression par pouce sera $\frac{5P}{5} = P$. Il en serait de même si, ayant une soupape de 3 pouces de diamètre, qui donne 7 pouces carrés de surface, on donnait aux leviers les proportions de 7 à 1.

Les mesures françaises sont trop petites pour se prêter à ce mode de division du levier. Une soupape de 7 centimètres de diamètre ayant une

surface de 38 centimètres carrés, exigerait l'emploi de leviers dans la proportion de 38 à 1, ce qui leur donnerait une longueur incommode.

On a dit que le poids qu'il faudrait suspendre au bout du levier en B a été remplacé par la pression équivalente d'un ressort. Ce ressort est une spirale qui, comprimée plus ou moins, est capable de supporter des poids plus ou moins considérables, ou en d'autres termes, c'est une balance à spirale, telle qu'elle est employée pour le pesage dans les usages ordinaires de la vie.

On sait que cette balance est composée d'une tige T (fig. 16) que l'on tient à la main, et à laquelle est affixée une plaque à rainure. Derrière cette plaque, dans un tuyau cylindrique, est un ressort dont le pied repose sur la base L qui est attenante à la plaque. A son autre extrémité, le même ressort est pressé par une barre transversale mobile *mn*. Au bas de l'appareil est une tige ou pied P, où l'on attache les objets à peser. Le prolongement de la barre *mn* traverse la rainure de la plaque et se termine par un style qui paraît au dehors, et qui monte ou descend le long de cette rainure, selon que le ressort est plus ou moins comprimé. Des divisions sont tracées le long de cette même rainure. Pour les établir, on suspend en P des poids connus de 1 lb., 2 lb. etc., et à mesure que ces poids, en pressant sur le ressort, font monter le style, on marque les divisions correspondantes. Il en résulte par conséquent que lorsqu'un objet suspendu en

P et d'un poids inconnu fait monter le ressort au point indiqué par 10, c'est-à-dire au même point où le faisait monter un poids de 10 lb., on juge que cet objet pèse également 10 lb. C'est donc cette balance que l'on emploie pour mesurer la pression dans les machines locomotives. On voit qu'en la détachant de la machine et y suspendant des poids connus, il est facile d'en vérifier les divisions, quand la balance est déjà graduée.

Sur la machine, le pied P de la balance où seraient suspendus les objets à peser, est solidement fixé sur la chaudière; et la tige T, que l'on tiendrait à la main dans le pesage ordinaire, est attachée à l'extrémité du levier. Cette tige est à filets de vis; elle traverse une ouverture ménagée au bout du levier et est arrêtée au-dessus par un écrou qui vient reposer sur le levier. Lorsqu'on veut que cette balance produise une pression de 10 lb., il suffit de baisser cet écrou jusqu'à ce que le ressort soit monté au point qui marque 10 lb.; et de même pour tout autre poids.

Réciproquement, la vapeur étant dans la chaudière à un degré inconnu, si l'on desserre graduellement l'écrou jusqu'à ce que la vapeur commence à soulever la soupape, c'est-à-dire fasse équilibre à la pression du ressort, on connaîtra la pression de la vapeur; car le degré où se trouvera alors le style donnera le poids qui fait équilibre à la pression cherchée.

§ 3. *Des corrections à faire au poids que marque la balance.*

C'est d'après le mode qu'on vient d'expliquer qu'on calcule communément la pression sur la soupape. Cependant on s'apercevra facilement que d'après la manière dont cette balance agit sur la soupape, il ne suffit pas de lire le degré où s'arrête le style et d'en calculer l'effet au bout du levier, comme nous l'avons fait plus haut, pour connaître la pression vraiment exercée contre la sortie de la vapeur. En effet, 1° outre le poids que représente le ressort et qui serait suspendu au bout du levier, il est clair que le poids du levier lui-même exerce une certaine pression; car avant que la vapeur puisse soulever d'une once le ressort, il faut d'abord qu'elle soulève tout le poids du levier. Il en est de même du disque de la soupape, qui doit être soulevé, avant que la force de la vapeur puisse exercer un effort quelconque sur la balance. 2° Quand on pèse un objet quelconque à la main, cet objet est suspendu au bas de la balance; mais la main en supporte le haut, c'est-à-dire la tige avec le ressort qui en dépend; et l'on ne tient pas compte de cet effort, parce qu'il n'entre pas dans le poids. Mais ici cette tige, l'écrou et le ressort sont un poids additionnel réellement suspendu au bout du levier en outre de la pression indiquée par le ressort. Il faut qu'ils soient soulevés avant que le ressort soit

pressé en aucune manière et puisse enregistrer aucun effort. Il convient donc encore de les faire entrer en compte. Ainsi, l'on n'aura la vraie pression exercée sur la soupape, que quand au poids inscrit sur la balance on aura ajouté, 1° la pression que produit le poids du levier à l'endroit de cette soupape, et 2° celle que produit au bout de ce levier le poids de la tige et du ressort de la balance.

1° Pour avoir l'effet du levier sur la soupape, il faut détacher ce levier de la balance, passer un lacet autour du pivot A qui repose sur la soupape, ou dans l'œil du levier en cet endroit, et avec une autre balance à ressort soulever le levier au moyen de ce lacet. Il est clair que le poids que marquera la seconde balance sera la pression que produit le levier à l'endroit de la soupape. On y ajoutera le poids du disque de la soupape, que l'on devra peser de même à part en le mettant dans le plateau d'une balance ordinaire. Lorsque les leviers ont 3 pieds de longueur totale, avec la grosseur qu'on est dans l'usage de leur donner, ils pèsent ordinairement 27 à 28 lb. à l'endroit de la soupape. Le disque d'une soupape de $2\frac{1}{2}$ pouces de diamètre et $\frac{1}{2}$ pouce d'épaisseur, pèse en général 10 onces environ. C'est donc un poids de $28^{lb}\frac{1}{2}$ à répartir sur toute la surface de la soupape, de sorte que si elle a 5 pouces carrés de surface, c'est un peu plus de $5^{lb}\frac{1}{2}$ par pouce carré. Lorsque les leviers n'ont que 15 pouces de longueur totale, ils pèsent en général $7^{lb}\frac{1}{2}$ à l'en-

droit de la soupape, ce qui avec le disque fait 8 lb. 2 onces; et si ce poids est à répartir entre 5 pouces carrés, c'est un peu plus de $1^{lb}\frac{1}{5}$ par pouce.

2° Pour avoir le poids de la partie de la balance que supporte le levier, il faudrait démonter cette balance et en peser à part le ressort avec sa tige. Cependant on évitera cette opération en prenant la balance à la main, et la suspendant dans le sens contraire où elle est placée dans le pesage ordinaire, savoir, le pied en haut et la tige en bas. Le poids que marquera alors l'index sera la différence entre le poids de la tige et ressort, et celui du pied. Si donc on connaît en outre le poids total de la balance, ce qui est facile en la mettant dans le plateau d'une balance ordinaire, on pourra en déduire facilement le poids de chacune des parties dont elle se compose et ainsi le poids cherché de la tige et ressort.

En effet, quand on a gradué la balance dans sa situation ordinaire, on a marqué zéro au point où se trouvait l'index, lorsque le ressort ne portait rien, ou plutôt lorsque ce ressort ne portait que le poids du pied. Ensuite on a ajouté successivement de nouveaux poids et pour chacun on a inscrit sur la plaque le nombre correspondant, faisant toujours abstraction du poids du pied, lequel ne devait pas en effet figurer dans les nombres à inscrire. Les poids marqués sur la plaque ne sont donc autre chose que la vraie tension du

ressort, moins le poids du pied de la balance. Or, quand nous renversons cette balance, le ressort est tendu en vertu du poids de la tige et du ressort, puisqu'il les porte maintenant. S'il avait porté un poids égal à celui du pied, il aurait marqué zéro; si donc il marque 2 ou 3 lb., c'est que la tige et le ressort pèsent 2 ou 3 lb. de plus que ne pesait le pied.

Soit donc B le poids total de la balance, T celui de la tige avec le ressort, et P′ celui du pied, et supposons que la balance renversée ait donné le poids m, on aura

$$m = T - P';$$

mais d'autre part le poids de la balance est égal au poids des deux parties dont elle se compose, ou

$$B = P' + T;$$

donc ajoutant ces deux équations, il vient

$$B + m = 2T, \text{ ou } T = \frac{B + m}{2}.$$

Quand les soupapes ont un levier de 15 pouces seulement, la balance qu'on emploie pèse ordinairement 4 lb., et lorsqu'on la renverse, elle marque $1^{lb}\frac{1}{2}$. Ainsi, dans ce cas, le poids de la tige avec le ressort, est

$$T = \frac{4 + 1.5}{2} = 2^{lb},75,$$

qui est le poids à ajouter au bout du levier, c'est-à-dire à joindre à celui qu'indique déjà la balance.

Lorsque la soupape a un levier de 3 pieds, la balance a besoin de divisions moindres; elle ne pèse ordinairement que 2 lb., et renversée marque $1^{lb}\frac{1}{2}$; ce qui donne pour le poids de la tige et du ressort dans ce cas,

$$T = \frac{2 + 1.5}{2} = 1^{lb},75;$$

en ajoutant donc ces poids à ceux marqués sur l'index de la balance, et tenant compte en outre du poids du levier, ainsi que nous l'avons indiqué, on aura la vraie pression exercée par tout l'appareil sur la soupape. En la divisant par l'aire de cette soupape, on en déduira la pression exercée par unité de surface.

On voit par là qu'avec un long levier, l'erreur de pression, par pouce carré, peut être de 7 à 8 lb., et qu'avec un court levier elle peut aller encore jusqu'à 3 ou 4 lb., ce qui est considérable.

En conservant les notations précédentes, c'est-à-dire P étant le poids donné par l'index, T celui de la tige et ressort, L celui du levier pesé comme on l'a dit, et D celui du disque; enfin BC et AC étant les bras de levier de la soupape et S sa surface en pouces carrés, la pression exercée par unité de surface sera

$$\frac{(P + T)\frac{BC}{AC} + L + D}{S}.$$

C'est faute d'être entré dans ces considérations

qu'on voit si souvent sur les machines à vapeur des balances qu'on suppose fixées à 50 lb. de pression par pouce et qui le sont réellement à 55 ou 60. Nous aurons dans un instant de fréquentes occasions d'appliquer et de vérifier ces principes, ce qui finira de les rendre parfaitement clairs.

§ 4. *De la mitre des soupapes.*

Ces causes d'erreur ne sont pas les seules. Il en existe deux autres qui se rencontrent fréquemment dans l'évaluation de la pression des machines locomotives, et qu'il n'est pas aussi facile de corriger que celles dont nous venons de parler.

Afin que les soupapes puissent fermer hermétiquement l'ouverture sur laquelle elles sont appliquées, et que cependant elles ne soient pas sujettes à contracter adhérence avec le siége qui les supporte, on est obligé de les faire légèrement coniques, ou du moins avec un bord taillé en biseau. Dans le moment où ces soupapes reposent sur leur siége qu'elles remplissent complétement, il est bien clair que la vapeur ne peut exercer d'action sur elles que par leur face inférieure. Ainsi leur aire, que nous avons plus haut exprimée par S, doit être prise d'après le diamètre *inférieur* de la soupape. En calculant de cette manière, on trouvera la pression exacte pour tous les cas où la soupape touchait encore le siége, ou du moins n'était soulevée par la vapeur que par instants

ou d'une quantité inappréciable. Mais dans tous les cas où la vapeur, produite en plus grande quantité qu'elle n'est dépensée, s'échappe violemment par la soupape, en se créant un passage, elle soulève considérablement le disque de la soupape. Il en résulte qu'au lieu d'avoir alors action sur la face inférieure de cette soupape, elle agit évidemment sur une surface plus grande, et d'autant plus grande que la soupape est soulevée davantage. Par exemple (fig. 20) elle agit sur la surface *cd*, au lieu d'agir sur *ab*. Dans ce cas, l'aire S de la soupape devrait donc être calculée sur *cd* et non sur *ab*. Mais comment connaître *cd* à moins d'en juger par le soulèvement de la soupape, ce qui est une opération fort difficile, ou plutôt impossible? D'ailleurs la difficulté se complique en ce que de *a* en *b* la pression de la vapeur agit bien directement pour soulever la soupape; mais de *c* en *a* et de *b* en *d*, l'action de cette vapeur n'a lieu que latéralement, et selon un angle variable en raison du soulèvement plus ou moins grand de la soupape.

L'effet de ce changement de diamètre de la soupape, qui paraît fort minime au premier aperçu, est cependant très-considérable dans le fait. Supposons, par exemple, qu'on ait une soupape de 2,5 pouces de diamètre au bas, et 3 pouces au haut, comme nous en aurons plus loin des exemples. Supposons encore que par l'effet du soufflement de la vapeur cette soupape soit soulevée assez haut pour que son diamètre effectif soit

devenu plus grand seulement de $\frac{1}{8}$ de pouce, c'est-à-dire qu'il soit devenu $2\frac{5}{8}$ pouces au lieu de $2\frac{4}{8}$ pouces, ou 2^{po}, 625 au lieu de 2^{po}, 5, la surface du cercle étant exprimée par $\frac{1}{4}\pi d^2$, expression où d exprime le diamètre, et $\pi = 3,1416$, rapport de la circonférence au diamètre, on voit que la surface de la soupape, qui était d'abord

$$\frac{1}{4} \times 3,1416 \times \overline{2,5}^2 = 4,91 \text{ pouces carrés},$$

sera devenue à présent

$$\frac{1}{4} \times 3,1416 \times \overline{2,625}^2 = 5,41 \text{ pouces carrés};$$

et par conséquent si nous supposons que le poids total porté par la soupape en raison des leviers, tige, disque, etc., soit 245 lb., ce poids, dans le cas de la soupape fermée, représentera une pression par pouce de

$$\frac{245}{4,91} = 50 \text{ lb.},$$

et dans le cas de la soupape levée, ce même poids ne représentera plus qu'une pression de

$$\frac{245}{5,41} = 25^{lb},27.$$

En mesures françaises, si une soupape a 6 centimètres de diamètre, et supporte un poids total de 110 kilogrammes; lorsque la soupape repose sur son siége, la pression effective à laquelle est soumise la vapeur dans la chaudière est de $3^k,9$ par centimètre carré. Mais si la soupape en se soule-

vant prend un accroisement de 2 millimètres seulement, le même poids ne tient plus la vapeur comprimée que sous une pression de 3^k, 6 par centimètre carré. Ainsi, l'on voit qu'un même poids indiqué par la balance correspond à des pressions de la vapeur fort différentes, lorsque la soupape est fermée, ou lorsqu'elle est soulevée.

En continuant dans le cas d'une soupape levée, à calculer sur ce qu'on appelle le diamètre de la soupape, c'est-à-dire son diamètre inférieur, on ferait ici une erreur de 5 lb. de pression par pouce, et l'erreur pourrait être plus grande si le soulèvement de la soupape était plus considérable. Comme d'ailleurs il n'y a aucun moyen pratique de connaître de combien le diamètre de la soupape est augmenté par le soulèvement, il s'ensuit que le mode de calcul que nous avons expliqué plus haut, même avec les corrections que nous y avons faites, ne s'appliquera d'une manière exacte qu'aux cas où la soupape commence à se soulever, ou laisse à peine échapper quelque vapeur. Mais plus le soulèvement sera grand, plus ce calcul surpassera la pression véritable. Nous en verrons plus loin des exemples.

Enfin ce n'est pas tout encore. Si l'on doit déduire la pression de la vapeur dans la chaudière de mesures prises sur la machine, il faut observer qu'il arrive fréquemment que pour avoir une face de contact plus facile à exécuter, on ne fait joindre la mitre de la soupape contre les parois de son

siége que jusqu'à une certaine partie de leur épaisseur, comme on le voit dans la figure 21. Il en résulte que la surface *ab* ou la partie inférieure de la soupape, que l'on a mesurée, n'est pas la surface sur laquelle se répartit la pression. Le vrai diamètre de la soupape dans ce cas est *cd*. Si donc entre *ab* et *cd* il y a une différence de $\frac{1}{8}$ de pouce par exemple, cela peut produire, de même que dans le cas du soulèvement de la soupape, une différence de 4 à 5 lb. dans la pression. On peut se préserver d'une erreur à cet égard, en mesurant non-seulement le diamètre inférieur de la soupape, mais le diamètre de l'ouverture de son siége; mais il reste toujours le soufflement de la soupape dont l'appréciation exacte échappe au calcul.

Le manomètre dont nous allons parler est le moyen d'éviter l'une et l'autre cause d'erreur; mais cet instrument est dispendieux et tellement rare encore que dans tous les ateliers et sur tous les railways, à l'exception de celui de Liverpool, on n'a d'autre moyen de juger la pression que ceux expliqués plus haut.

ARTICLE II.

DU MANOMÈTRE A MERCURE.

§ 1. *Construction et usage du manomètre.*

Les calculs que nous venons de faire peuvent être suffisamment exacts pour un grand nombre de cas.

Cependant ils offrent quelque complication qui les rend peu commodes. D'ailleurs, on ne peut les établir qu'en mesurant et pesant diverses parties de la machine, ce qui exige du temps, du soin, et ne peut se faire que quand la machine a cessé de travailler. On conçoit donc toute l'utilité d'un instrument qui d'un coup d'œil et à la seule inspection, donne une mesure exacte de la pression de la vapeur. Alors tous les cas, même ceux de soupape levée, n'offrent plus de difficulté, ni même de nécessité de calcul. Il suffit qu'on puisse soumettre la machine à l'épreuve.

L'instrument dont on se sert dans ce but est le manomètre à mercure, établi sur le même principe que le baromètre commun. M*bm* (fig. 18) est un tube contenant du mercure, lequel ne doit pas s'élever plus haut que les deux points M et *m*. FG est le réservoir à eau. Il n'en doit pas contenir plus haut que le robinet E, dont l'usage est de laisser écouler le trop plein de l'eau qui se serait produit par la condensation dans quelque expérience antérieure. R est une ouverture fermée par un robinet et par laquelle on peut verser du mercure ou de l'eau dans l'instrument selon le besoin. Enfin C est un ajutage sur lequel se visse un tuyau qui, à son autre extrémité, aboutit à la chaudière de la machine. Ce tuyau est flexible et on le fait ordinairement d'étain. C'est lui qui met le manomètre en communication avec la machine. Au point où il joint celle-ci, il se visse sur un ajutage que porte la chau-

dière, et qui est tenu fermé par un robinet.

Pour apprêter l'instrument avant de s'en servir, on verse un trop plein de mercure par l'ouverture R, afin d'être assuré que l'instrument en contient au moins jusqu'à la hauteur M*m*; puis on dévisse le bouton M pour laisser écouler ce qu'il peut y en avoir de trop. Ensuite, ayant replacé le bouton, on verse de même par R un trop plein d'eau dans le réservoir FG, et l'on en laisse encore écouler le surplus par le robinet E. Alors on met l'instrument en communication avec la chaudière. La vapeur en arrivant par le tuyau C dans la partie supérieure du réservoir FG, y pressera sur l'eau en vertu de sa force élastique. Elle refoulera le mercure qui se trouve dans la branche M*b*, et le fera remonter dans la branche *mb* jusqu'au point où le poids du mercure ainsi soulevé fera équilibre à la pression de la vapeur venant de la chaudière. Un flotteur en métal porté sur la surface du mercure au point *m*, s'élèvera à mesure que cette surface montera dans le tube; et un index suspendu au bout d'un fil, passant sur une poulie de renvoi *p*, descendra entre les deux tubes à mesure que le mercure montera dans la branche *bm*. Par ses différences de hauteur sur une échelle graduée, cet index marquera les variations de niveau du mercure dans les diverses expériences. Si l'instrument a une longueur de M en B de $6\frac{1}{2}$ pieds, je suppose, ou 78 pouces, on pourra à la rigueur avoir dans la colonne ascendante jusqu'à 156 pouces de mercure;

et comme une colonne de 156 pouces de mercure, qui aurait 1 pouce carré de base, pèserait à peu près 80 lb., on pourra avec cette colonne faire équilibre à des poids, ou mesurer des pressions effectives s'élevant jusqu'à 80 lb., par pouce carré.

En mesures françaises, si la plus petite des deux branches de l'instrument a 2 mètres de hauteur, on pourra obtenir en tout une différence de niveau de 4 mètres de mercure, et ainsi faire équilibre à des pressions effectives de 5 kil. par centimètre carré.

Le récipient FG est un cylindre de 3 pouces de diamètre et de 6 pouces de hauteur. L'usage de l'eau qu'il contient est de tenir constamment la branche M*b* pleine d'eau à mesure que le mercure descend dans cette branche. C'est pourquoi ce récipient est beaucoup plus large que le tube, et sa capacité est calculée pour qu'il puisse fournir à remplir au besoin la totalité de cette branche. Si l'on omettait cette précaution, à mesure qu'il se formerait de l'eau de condensation dans l'instrument durant l'expérience, elle tomberait dans le tube, et celui-ci étant fort étroit, n'ayant par exemple qu'une aire de $\frac{1}{4}$ pouce carré, cette eau s'y élèverait promptement à une hauteur assez considérable pour causer un surplus de pression qui fausserait le résultat. Au moyen du récipient FG au contraire, l'eau de condensation se trouve, à mesure qu'elle est formée, répartie sur une surface de 7 pouces carrés, et n'y produit par conséquent qu'une

différence de hauteur insensible. Comme la pression exercée par cette eau sur l'unité de surface ne dépend, comme on sait, absolument que de sa hauteur, il s'ensuit que, d'après cet arrangement de l'instrument, le surplus de pression causé par la vapeur condensée devient une quantité absolument négligeable.

Pour graduer l'instrument on peut marquer d'abord le point zéro. Pour cela, le mercure et l'eau ayant été versés comme il a été dit plus haut, on laissera les deux branches communiquer librement avec l'atmosphère, et le point où s'arrêtera l'index sera le point cherché, puisque c'est la position que prend naturellement le flotteur, quand la branche M*b* ne porte rien que la pression atmosphérique. Si les deux branches du tube recourbé ne contenaient que du mercure, il est clair que le point correspondant à zéro dans la branche remontante serait *m*, puisque le mercure se mettrait de niveau dans les deux branches. Au lieu de cela le mercure de la branche M supporte un certain poids d'eau, savoir, celui de la colonne EM; il tendra donc à baisser dans cette branche et à s'élever dans l'autre. Toutefois, si l'on donne au flotteur un poids capable de faire équilibre à cette colonne d'eau, le niveau se conservera le même que s'il n'y avait que du mercure dans les deux branches.

On marquera ensuite l'autre extrémité de l'échelle. Pour cela, soit ϖ la pression à laquelle nous voulons faire équilibre; supposons que l'équilibre soit établi en effet, et que x soit la hauteur à la-

quelle, en vertu de cette pression ϖ, se tient le mercure au-dessus de son niveau naturel dans la branche m. Puisque le mercure a monté dans la branche m d'une hauteur x, il faut qu'il ait descendu d'une égale quantité dans l'autre branche, car le mercure ajouté d'un côté ne peut provenir que de ce qu'il a été enlevé à l'autre. Le mercure dans la branche M se trouvera donc en même temps au point x', et toute la partie de cette même branche depuis le point x' jusqu'au point M sera remplie par l'eau du récipient. Si par le point x' nous menons un plan horizontal, le mercure inférieur à ce plan se fera de lui-même équilibre dans les deux branches, et ainsi les conditions de l'équilibre ne sont à considérer que pour les parties supérieures à ce plan dans les deux branches. Or, d'une part nous avons la pression ϖ plus le poids d'une colonne d'eau de la hauteur $Mx' = x$, et de l'autre nous avons une colonne de mercure de la hauteur $2x$, plus le poids de l'atmosphère. P exprimant donc le poids de la colonne de mercure, P' celui de la colonne d'eau et ρ celui de l'atmosphère, on aura, puisqu'il y a équilibre,

$$\rho + P = P' + \varpi, \text{ ou } P = P' + (\varpi - \rho).$$

$(\varpi - \rho)$, qui est l'excès de la pression réelle de la vapeur sur la pression atmosphérique, est ce qu'on nomme la pression *effective;* et dans les machines à vapeur à haute pression, c'est toujours celle que l'on considère. La colonne de mercure, dont nous

avons exprimé le poids par P, ayant pour base celle du tube que nous exprimerons par b et pour hauteur la hauteur $2x$, aura pour volume $2bx$; δ représentant la densité du mercure, $2\delta bx$ sera la masse de la même colonne; et g exprimant la gravité, $2g\delta bx$ sera son poids; c'est-à-dire qu'on aura

$$P = 2g\delta bx.$$

De même δ' étant la densité de l'eau, le poids P' de la colonne d'eau aura pour expression $g\delta' bx$, puisque sa base est aussi b et sa hauteur est $M x' = x$. Mais la densité de l'eau étant exprimée par 1, celle du mercure est exprimée par 13,568; donc on a

$$\frac{\delta'}{\delta} = \frac{1}{13,568}, \quad \text{ou} \quad \delta' = \frac{\delta}{13,568},$$

et par conséquent

$$P' = \frac{g\delta bx}{13,568}.$$

D'autre part la pression effective donnée ($\varpi - \rho$), de quelque manière qu'elle soit exprimée, peut être remplacée par le poids d'une colonne de mercure qui produirait la même pression sur la base b. Soit donc h la hauteur de cette colonne, qu'il est facile de calculer; on aura encore

$$\varpi - \rho = g\delta bh;$$

donc l'équation d'équilibre sera

$$2g\delta bx = \frac{g\delta bx}{13,568} + g\delta bh,$$

ou bien

$$x\left(2-\frac{1}{13,568}\right)=h,$$

h étant la hauteur qui convient à la pression effective. Cette équation donne

$$x=h\times\frac{13,568}{26,136}=h\times 0,51913.$$

La hauteur h d'une colonne de mercure qui peut représenter une pression donnée est facile à connaître; car on sait qu'une colonne de mercure de 1 pouce de hauteur, presse sur sa base à raison de 0^{lb}, 4948 par pouce carré. Ainsi l'on calculera proportionnellement la hauteur de toute autre colonne. Si l'on veut, par exemple, qu'elle représente une pression de 70 lb., on la connaîtra d'après la proportion

$$0^{lb},4948 : 1^{p} :: 70^{lb} : h = \frac{70}{0,4948}\times 1^{po}=141^{po},47;$$

ainsi, d'après cette valeur de h, x sera

$$x=141^{po},47\times 0,51913,$$

ou $$x=73^{po},442, \quad \text{ou} \quad 6^{pi}, 1^{po}\tfrac{1}{2};$$

c'est-à-dire que pour correspondre à une pression effective de 70^{lb}, la hauteur de mercure doit être $6^{pi}\,1^{po}\,\frac{1}{2}$.

En mesures françaises, on sait qu'une colonne de 76^{cm} de mercure produit sur sa base une pression de ^{kg}, 033 par centimètre carré de surface. Ainsi, pour avoir, par exemple, la hauteur de mer-

cure représentant une pression effective de 4^{kg} par centimètre carré, la hauteur de mercure devra être 294^{cm}. Par conséquent la valeur de x, c'est-à-dire la division correspondante à une pression de 4^{kg} par centimètre carré sera

$$x = 0{,}51913 \times 294^{cm} = 152^{cm},6$$

Le même calcul s'appliquerait à la recherche de tout point intermédiaire; mais cette recherche est inutile; car connaissant le point correspondant à zéro et celui correspondant à la pression *maximum* de l'instrument, en divisant l'intervalle en parties égales, l'échelle se trouvera convenablement graduée, puisqu'on vient de voir que la valeur générale de x ne dépend absolument que de la valeur correspondante de h et lui est proportionnelle.

Ce manomètre étant une fois établi et gradué, toutes les fois qu'on aura des doutes sur la pression d'une machine, on l'amènera sous l'instrument, et l'on pourra s'assurer de sa pression dans quelque état que se trouve alors la soupape, qu'elle soit soulevée ou non.

§ 2. *Détermination de la pression des machines pendant leur marche.*

En se servant du manomètre pour connaître la pression durant une expérience donnée, il faut toutefois faire attention à une circonstance que nous allons signaler. Si, la soupape une fois réglée, la machine conservait une pression constante durant toute sa marche, il n'y aurait besoin que de l'essayer une fois pour toutes avant son départ. Ayant fixé la soupape au point où l'on veut travailler, on amènerait la machine sous l'instrument; on déterminerait la pression qui correspond à ce point, et pourvu qu'on ne fît plus aucun changement au ressort de la soupape, on aurait la pression de la machine en tout instant de sa marche.

C'est ainsi qu'on calcule d'ordinaire, qu'on se soit ou non servi du manomètre. Quand on a reconnu qu'une machine lève sa soupape exactement à 50 lb. de pression effective par pouce carré, on considère que dès ce moment cette soupape donne une libre issue à la vapeur, et l'on tient pour évident que dès lors la vapeur ne pourra jamais s'élever au delà de 50 lb., à moins de changement à la soupape, ce qui est contre l'hypothèse. L'expérience prouve l'erreur de ce raisonnement.

Si l'on observe de près une locomotive, on verra bientôt que rien n'est plus variable que sa pression, quoique rien ne soit changé à la soupape. Si la machine court rapidement avec un train mo-

déré, et arrive à une légère inclinaison de la route, quelque peu prononcée que semble cette inclinaison, elle produit aussitôt un considérable accroissement de traction, parce que la gravité de toute la masse le long de la pente devient une résistance additionnelle pour la machine, et d'autant plus sensible pour cette machine, que le train offrait auparavant moins de résistance sur les parties de niveau. C'est ainsi qu'un poids de 1 tonne, qui sur niveau n'exige qu'une traction de 8 lb., en offre près de quatre fois autant, dès qu'il s'agit seulement de gravir une pente à $\frac{1}{100}$, puisque la gravité de 1 tonne ou 2240 lb. sur cette inclinaison est $\frac{2240}{100} = 22^{lb},40$. Il résulte donc de cet accroissement subit de résistance que la machine, aussitôt son arrivée au pied de la pente, devra réduire considérablement sa vélocité. Dans sa course précédente elle dépensait je suppose 480 cylindres de vapeur par minute; si en raison de l'obstacle accidentel qu'elle doit surmonter, il lui faut par exemple réduire sa vitesse au $\frac{1}{3}$ de ce qu'elle était auparavant, elle ne devra plus évidemment dépenser que 160 cylindres de vapeur chaque minute. Cependant le feu violemment excité par la course précédente continuera d'en produire la même quantité. Cette vapeur, il est vrai, se dépensera à une pression plus grande; mais, d'après l'expérience, ce surcroît de pression ne balancera pas le surcroît de production, et la soupape commencera à émettre violemment une énorme quantité de vapeur sura-

bondante. Celle-ci pour s'échapper soulèvera la soupape; mais si l'on observe que la soupape ne peut se soulever sans tirer sur le ressort, et par conséquent sans accroître sa tension, on reconnaîtra que la vapeur ne s'échappera qu'à condition d'augmenter de pression. Et, en effet, on verra aussitôt sur la balance cette pression monter de plusieurs livres par pouce carré, selon la violence du feu et la construction de la machine. Quelle erreur ne fait-on donc pas, lorsqu'on continue de calculer la pression effective à 50 lb., par le motif que la soupape cédant à ce point ne permettrait point à la vapeur de s'élever au delà?

Lorsque la vapeur en se dégageant soulève la soupape d'une quantité déterminée, plus le levier de la balance est grand, plus le style se trouve déplacé sur cette balance, et ainsi plus le surcroît de tension du ressort est considérable. Ainsi, dans les machines à long levier, toutes choses égales d'ailleurs, l'accroissement de pression sera plus considérable que dans celles dont le levier est plus court.

Nous verrons dans un instant que la machine Atlas, qui a un court levier avec une soupape de 2 $\frac{1}{2}$ pouces de diamètre, peut, en gravissant des obstacles difficiles, élever sa pression de 53 à 56 lb.; et que la machine Fury, qui a un long levier avec une soupape de 3 pouces de diamètre, et qui produit une quantité considérable de vapeur, peut dans les mêmes circonstances porter sa pression de

53 à 62 ½ livres. On conçoit que ces variations de pression dépendent, dans chaque machine, d'abord de l'accroissement de résistance créé par l'obstacle ou de la diminution de vitesse, et ensuite des dimensions des soupapes, leviers et balances, et de la force de vaporisation, c'est-à-dire de la quantité de vapeur que produit la machine.

Cette élévation de pression dans les locomotives à la rencontre des obstacles qui les contraignent de réduire leur vitesse, fait que les machines à long levier de balance ont un avantage marqué sur celles à court levier, lorsqu'il s'agit de gravir une pente. Cet avantage, il est vrai, n'est gagné qu'en soumettant la machine à une plus forte pression, et pourrait également s'acquérir avec les machines à court levier, si l'on voulait alors baisser l'écrou de la balance pour augmenter de même la pression de la chaudière, mais on voit que ce fait semblerait la preuve d'une supériorité de travail et serait même inexplicable dans son résultat pour une personne qui prendrait la pression comme ne dépassant jamais 50 lb.

Les variations de pression dont nous venons de parler ont lieu durant la marche de la machine, c'est-à-dire tandis qu'elle est séparée du manomètre à mercure. Lors donc qu'ayant fait travailler une machine dans une circonstance ou avec une charge déterminée on veut savoir à quelle pression cette machine travaillait alors, il faut noter exactement durant l'expérience les degrés successive-

ment inscrits sur la balance. Puis, quand la machine a terminé son ouvrage, on l'amène au manomètre. Alors en excitant suffisamment le feu pour que la balance repasse par tous les mêmes degrés où elle est montée pendant le service, et observant en même temps le manomètre, il indiquera pour chacun de ces degrés la pression correspondante. Tel est le moyen que nous avons employé.

Nous avons succesivement amené sous l'instrument toutes les machines dont nous avons fait usage dans nos expériences, et nous avons pour chacune d'elles, car toutes sont différentes l'une de l'autre soit dans un point soit dans l'autre, déterminé les correspondances du manomètre avec la balance de la soupape.

§ 3. *Expériences sur la pression des machines, d'après le manomètre.*

Comme ces expériences serviront à éclaircir les principes précédents, qu'elles donneront la mesure des effets produits par la mitre et le poids des parties accessoires des soupapes; et qu'enfin elles formeront la base de quelques-uns des calculs que nous avons à faire sur les machines, nous rapporterons ici les principales.

I. ATLAS : soupape $2^{po}\ \frac{3}{4}$ de diamètre : mitre $2^{po}\ \frac{3}{4}$, prenant en biseau au milieu de l'épaisseur de la soupape, comme on le voit dans la

figure 22; leviers 3 pouces et 15 pouces ou dans les proportions de 1 à 5; seconde soupape de sûreté pareille à la première, mais fixée à trop haute pression pour souffler dans aucune des expériences; la machine amenée au manomètre les 15 juillet, 31 juillet et 6 août 1834, a donné les correspondances suivantes :

	Degrés de la balance.	Correspondances au manomètre. lb.
N° 1.	0	4
	10	15,25
	11	15,50
	20	25,50
	20,25	25,75
	20,75	26,25
	22,50	27,50
N° II.	20,25	24,75
	20,50	25,25
	22	25,75
	23	26,25
	23,75	27
	25	28,25
	30	33,50
	30,25	34,50
	30,50	35
	33	37,50
	33,25	38
N° III.	51,25	54
	51,50	54,50
	51,75	55
	52	55
	52,50	55,50

Dans la série de ces expériences désignée sous le n° 1 les degrés de la balance étaient pris à soupape fermante, du moins autant que la chose était possible, c'est-à-dire la soupape donnant à peine quelque souffle de vapeur. Pour obtenir cet objet, on avait pris la machine après son ouvrage terminé, au moment où le feu baissant rapidement, la pression baissait aussi continuellement et tendait par conséquent à diminuer le soufflement, qui finissait ainsi par être toujours à peu près nul. A mesure que la pression baissait au manomètre, on desserrait l'écrou de la balance pour qu'elle pût continuer à indiquer les pressions inférieures qui se produisaient.

Le degré correspondant à zéro de la balance n'a pu être pris exactement; la balance avait déjà baissé un peu au-dessous de zéro, quand le manomètre marquait 4 lb.

Dans la seconde série d'expériences, la machine fut prise au contraire à l'instant où la soupape desserrée à dessein n'enfermait dans la chaudière que de la vapeur à 20 lb. de pression. En animant le feu et serrant en même temps à mesure des besoins l'écrou de la balance, on produisait les degrés ci-dessus et l'on inscrivait leurs correspondants au manomètre. On a vu que dans la première série les degrés étaient pris à soupape fermante; ici au contraire la pression s'élevant rapidement dans la chaudière, soulevait continuellement la soupape, et il en résultait que tous les degrés étaient pris à

soupape levante. Cependant, comme on serrait l'écrou de la balance à mesure que les pressions s'élevaient, ce soufflement n'arrivait jamais à être très-considérable, et ne dépassait guère 1 à 2 livres au plus à la balance.

Dans la troisième série la machine a été placée dans l'état où elle est dans son travail ordinaire, savoir, la soupape fixée à 50 lb. fermante, et s'élevant ensuite à partir de ce point par le soufflement de la vapeur autant que la force de cette vapeur la poussait. Comme on ne serrait pas l'écrou à mesure que la pression augmentait, la soupape était soulevée bien plus dans ce dernier cas que dans le précédent.

En considérant la première série, on voit que, dans ces expériences, la pression au manomètre se conclut de la pression indiquée par la balance en y ajoutant 5 lb.

Dans la seconde série, il faut aux degrés de la balance ajouter seulement 4 lb.

Dans la troisième, il ne faut ajouter que 3 lb.

Ces différences s'expliquent facilement en se reportant aux principes précédents.

Le levier de la balance de cette machine, pesé à l'endroit de la soupape comme on l'a expliqué plus haut, pèse 7 livres $\frac{1}{2}$; le disque de la soupape pèse 10 onces $\frac{1}{4}$. C'est donc pour ces deux objets ensemble $8^{lb},14$, qui est un poids appliqué immédiatement sur la soupape.

En outre, le poids total de la balance est 4 lb.;

et renversée, elle marque $\frac{1}{2}$ livre, ce qui donne pour le poids de la tige et ressort

$$\frac{4 + 1,5}{2} = 2^{lb},75.$$

Ce poids de 2^{lb}, 75 agissant au bout du levier, doit être multiplié par la longueur de ce levier. Il en résulte que l'addition totale à faire aux tensions indiquées par le ressort est

	$2^{lb},75 \times 5 = 13^{lb},75$,	effet de la tige et ressort au bout du levier.
	8 , 14,	poids du levier et disque de soupape
Total. . .	$21^{lbs},89$	

et comme la soupape a $2\frac{1}{2}$ pouces de diamètre ou 4,91 pouces carrés de surface, ces $21^{lb},89$ réparties par unité de surface ou par pouce carré, font

$$\frac{21^{lb},89}{4,91} = 4^{lb},46.$$

On voit donc que la véritable pression surpasse de 4 à 5 livres celle qui résulte du ressort de la balance.

Nous avons trouvé ce résultat pour une soupape fermante, c'est-à-dire en prenant la soupape à $2^{po}\frac{1}{2}$ de diamètre, ce qui nous a donné pour sa surface en pouces carrés, et par conséquent pour diviseur, le nombre 4,91; mais, comme par l'effet du soufflement l'aire effective

de la soupape augmente, on ne doit pas être surpris que par un soufflement modéré cette addition de 5 livres se trouve réduite à 4 lb., et enfin à 3 lb. pour une soupape soufflant violemment. Si par exemple on applique le calcul à une pression de 52 lb. indiquées à la balance, on aura

$(52^{lb} + 2^{lb},75) \times 5 = 273^{lb},75$, effet du poids suspendu au bout du levier, y compris la tige et ressort.

8 , 14 levier et soupape.

281^{lb} , 89 pression totale;

qui, divisée entre 4,91 pouces carrés donnerait pour chacun $57^{lb},41$.

Cependant, par le fait, le point correspondant du manomètre n'est que 55 lb.; il faut donc que le soufflement ait accru l'aire effective de la soupape jusqu'à 5,13 pouces carrés au lieu de $4^{po},91$; c'est-à-dire ait porté son diamètre effectif à $2^{po},55$ au lieu de $2^{po},50$.

Ainsi, c'est une addition de 5 centièmes de pouce au diamètre d'une soupape de $2^{po},50$ qui a suffi pour produire la différence de $2^{lb}\frac{1}{2}$ que nous observons ici. C'est là l'effet du soufflement, lequel, comme on voit, est considérable et ne peut être connu que par le manomètre et non par des mesures prises sur la machine.

II. Vesta : soupape $2^{po}\frac{1}{2}$ de diamètre; levier 3 pouces et 36 pouces, ou dans les proportions

de 1 à 12. Seconde soupape de même diamètre que la première, avec levier 2po ¼ et 15 pouces ou dans les proportions de 1 à 6, marquant 50 à la balance, et donnant issue à la vapeur en même temps que la première, mais tellement peu sensible que 5 lb. de plus au manomètre ne lui font faire aucun mouvement. Cette machine, amenée au manomètre les 28 juillet et 5 août 1834, de la même manière qu'*Atlas*, a donné les correspondances suivantes :

	Degrés de la balance.	Pressions correspondantes par pouce carré au manomètre.
N° I.	8lb,50.	24lb
	9	24,50
	9,50.	26
	10	27
	10,25.	28
	10,50.	29
	10,75.	30
	12	31,50
	12,25.	32
	12,50.	33
	12,75.	34
	13,25.	35
	13,50.	36
	13,75.	37
	14	38

Degrés de la balance.	Pressions correspondantes par pouce carré au manomètre.
N° II. 20^{lb} point de départ de la soupape.	
21	50^{lb}
21,25.	51
21,50.	52
22	53,25
22,25.	54
22,50.	55

Les expériences de la série n° 1 ont été faites autant que possible à soupape fermante; c'est-à-dire qu'on serrait l'écrou de la balance à mesure que la pression s'élevait, de manière qu'il n'y avait presque pas de soufflement.

Pour celles de la deuxième série, la machine a été amenée au manomètre dans l'état où elle est d'ordinaire pendant le travail, savoir, balance à 20 lorsqu'on appuie sur la soupape pour la fermer; et les degrés observés étaient ceux qui résultaient du soufflement de la vapeur au delà de ce point, c'est-à-dire que ces degrés étaient pris à soupape levée, à partir du degré 20.

Le levier de la soupape de cette machine étant divisé dans les proportions de 1 à 12, tout poids inscrit sur la balance produit sur la soupape une pression 12 fois plus grande. La soupape a une surface en pouces carrés de 4^{po},91; en multipliant donc les degrés de la balance par 12 et divisant le produit par 4,91, on en déduira la pression

qui résulte du ressort considéré seul. C'est le calcul auquel on se borne d'ordinaire.

Si l'on compare les résultats que l'on obtient ainsi avec les correspondances du manomètre dans la première série des expériences, on trouve que ces résultats sont toujours au-dessous de la pression réelle de 3 à 4 lb. Ce doit être donc l'effet du poids des parties accessoires dont nous nous occupons.

En effet, le levier de cette machine, réduit à dessein par le constructeur, pèse 15 lb. à l'endroit de la soupape. Le disque de soupape pèse 10 onces. La balance n'est pas placée à l'ordinaire; elle est renversée, de sorte que le levier, au lieu de supporter la tige de la balance, n'en porte que le pied. Le poids de celui-ci est de $0^{lb},25$, car la balance entière pèse 2 lb., et suspendue la tige en bas elle marque $1^{lb},5$, ce qui est par conséquent l'excès du poids de la tige sur le poids du pied; d'où résulte que le poids de celui-ci est, comme on l'a dit, de $0^{lb},25$.

Ainsi, l'addition due à ces divers objets est:

Poids du levier et disque de soupape.	$15^{lb},60$
Effet du pied suspendu au levier $0^{lb},25$ 12	3 ,00
Addition totale.	$18^{lb},60$

Ce poids additionnel réparti par pouce carré sur la surface de la soupape fait $3^{lb},8$. On voit donc la vérification du calcul dans le cas de soupape fermante.

Quant aux cas de soupape levée ou de la seconde série, on trouve par le fait que les pressions réelles sont moindres qu'elles ne seraient à soupape fermante d'environ 4 à 5 lb., sans qu'il y ait un moyen de connaître cette différence autrement que par le manomètre. Ainsi donc, si l'on avait voulu dans ce cas calculer la pression comme pour les cas de soupape fermante, c'est-à-dire en répartissant la totalité du poids sur une surface de $4^{po},91$ ou sur une soupape de $2^{po},50$ de diamètre, on aurait fait une erreur de 4 lb. en trop dans chaque cas. Il se trouve ici que dans les soulèvements considérables de la soupape, la réduction due au soufflement finit par compenser l'addition qu'exige le poids du levier, disque et tige de balance.

Ces rapprochements prouvent combien seraient fautifs des calculs de force, ou d'effets de machines dont les pressions réelles n'auraient pas été déterminées par des procédés manométriques; et l'on a dit déjà que de tous les railways actuellement en activité celui de Liverpool est jusqu'ici le seul où l'on trouve un manomètre.

III. Firefly : soupape $2^{po},50$; mitre $3^{po},00$; leviers 3 et 36^{po}; a donné le 2 août 1834 :

Degrés de la balance.	Pressions correspondantes par pouce carré su manomètre.
17^{lb} point de départ de la soupape.	
17.	50^{lb}
20.	51

On voit que pour cette machine l'addition à faire à la pression indiquée par la balance est de $8^{lb},5$ par pouce carré pour levier, disque et balance; et que dans les cas de soupape levée, la réduction produite par la mitre peut aller à 6 lb., parce que cette mitre est en effet considérable.

IV. Leeds : soupape 3 pouces; mitre $3^{po},125$; leviers 3 pouces et 36 pouces; seconde soupape serrée à trop haute pression pour donner issue à la vapeur durant les expériences; a donné les 28 juillet et 6 août 1834 :

	Degrés de la balance.	Pressions correspondantes par pouce carré au manomètre.
N° I.	28^{lb} point de départ de la soupape.	
	29,50.	50^{lb}
	29,75.	51
	30	51,5
	30,50.	52
	31	53
N° II.	31^{lb} point de départ de la soupape.	
	32	54^{lb}
	33	55
	34	56
	36	57,5
N° III.	32^{lb} point de départ de la soupape.	
	34	60^{lb}

V. Vulcan : avec soupapes et leviers exactement pareils à ceux de la précédente; deuxième soupape différente, mais également fixée trop haut pour donner aucun signe durant les expériences, a donné le 28 juillet 1834 :

Degrés de la balance.	Pressions correspondantes par pouce carré au manomètre.
31^{lb} point de départ de la soupape.	
35	56^{lb},5

VI. Fury : avec soupapes et leviers exactement pareils à ceux de la précédente; seconde soupape différente, mais également fixée trop haut pour donner passage à la vapeur durant les expériences; a donné les 6 août, 24 et 25 juillet 1834 :

	Degrés de la balance.	Pressions correspondantes par pouce carré au manomètre.
N° I.	31^{lb} point de départ de la soupape.	
	33,50.	56^{lb},50
	33,75.	57,50
	34	58
	36	62,50
N° II.	32^{lb} point de départ de la soupape.	
	36	67^{lb}

Dans la série n° 1 des expériences de *Leeds*, le

soufflement de la soupape a été de 28 lb. à 31 lb Dans la série n° II de la même machine, il a été de 31 à 36, ce qui est considérable. Dans la série n° III il a été le moindre, savoir de 32 à 34. Aussi voit-on dans cette troisième série le moindre effet réductif de mitre.

L'expérience de *Vulcan* est le cas ordinaire dans le travail de cette machine.

Dans les expériences de *Fury* on a deux effets différents de mitre, comme dans celles de *Leeds*.

D'après le poids des leviers et tige de balance de ces trois machines, l'addition à faire à l'effet de la tension du ressort est de 7 lb. par pouce carré; mais le soufflement et de plus le chanfrein du siége de la soupape, produisent les réductions que l'on voit ici. Cette circonstance explique les anomalies que semblent offrir ces expériences.

ARTICLE III.

D'UN MANOMÈTRE PORTATIF.

§ 1. *D'une modification proposée aux soupapes ordinaires.*

Tous les calculs prouvent la difficulté qu'il y a d'arriver à la connaissance de la vraie pression de la vapeur d'après l'inspection des balances, telles qu'on les fait actuellement, et les erreurs que doi-

vent nécessairement faire ceux qui n'ont pas un manomètre à mercure à leur disposition.

On éviterait évidemment ces difficultés en adoptant une nouvelle disposition de soupape, dont, durant notre séjour à Liverpool au mois de juillet 1834, nous avons laissé un dessin aux directeurs de la compagnie du railway.

Le pivot du levier doit être placé entre la soupape et la balance, ainsi qu'on le voit dans la fig. 17; et la balance doit être suspendue par sa tige, comme elle l'est dans le pesage ordinaire. En outre la longue branche du levier doit faire équilibre autour du pivot C à la plus courte branche, plus le disque de soupape; ce qu'on effectuera facilement en augmentant un peu l'épaisseur du plus court levier, ou mettant quelque masse additionnelle de métal au-dessus de la soupape. Enfin la proportion des deux bras de levier doit être celle de l'aire de la soupape à l'unité de surface; et il ne doit pas y avoir de chanfrein au siége de la soupape.

Par cette simple disposition il est clair que le degré qu'on lira inscrit sur la balance donnera immédiatement et sans aucun calcul la pression effective qui a lieu dans la chaudière. En effet, 1° la balance étant placée dans sa situation ordinaire, dans laquelle le poids du pied P est pris en compte, il n'y aura aucune addition à faire pour le poids de ce pied ni de la tige; 2° les deux parties du levier se faisant équilibre il n'y aura aucune addition à faire

pour le poids de ce levier sur la soupape. Enfin les bras de levier étant dans la proportion de l'aire de la soupape à l'unité, tout nombre écrit sur la balance représentera une égale pression sur l'unité de surface de la soupape.

Ainsi cette soupape dispensera de tout calcul, et donnera immédiatement écrit sur la balance la pression effective par pouce carré. Elle remplira exactement les conditions que l'on demande à une soupape qui n'a besoin que de régler la pression; c'est-à-dire que si on la fixe à 50, on sera sûr, sans calcul ou considération quelconque, que la vapeur la soulèvera précisément à 50 lb. de pression par pouce carré. C'est tout ce qui est ordinairement nécessaire pour le service d'un railway, où les propriétaires veulent seulement par prudence que les machines soient réglées à une pression déterminée.

Dans les cas d'expériences théoriques sur certaines circonstances de la marche des machines, il restera toujours à faire une déduction pour l'effet de la mitre dans le soufflement, et il faudrait toujours revenir au manomètre; mais nous allons également proposer un instrument portatif propre à le remplacer, et qui n'exige nullement d'ailleurs l'emploi de la soupape précédemment décrite.

§ 2. *D'un manomètre portatif propre à remplacer le manomètre à mercure.*

Nous avons dit que dans l'état actuel des choses, lorsqu'on veut connaître à quelle pression travaillait une machine dans une circonstance déterminée, il faut après l'expérience l'amener au manomètre, pour trouver les pressions qui correspondent aux degrés de la balance observés durant le travail.

C'est déjà un inconvénient que cette seconde expérience qui doit succéder à la première. En outre il faut dans la recherche des pressions replacer strictement toutes choses dans l'état où elles étaient lors de l'essai de la machine. On vient de voir en effet qu'une soupape fixée à 32 lb., comme point de départ, et soufflant à 36, peut représenter 67 lb. de pression; tandis que si cette même soupape a son point de départ à 31 lb., le même degré 36 peut ne plus correspondre qu'à 62 lb. La seconde soupape doit de même avoir été observée pendant le travail et se trouver replacée précisément au même point; car, si elle est desserrée, elle donnera issue à une certaine quantité de vapeur qui sans cela aurait dû nécessairement s'échapper par la première soupape, et aurait ainsi élevé la pression. Enfin les machinistes ont intérêt à cacher la véritable pression de leur machine, de peur qu'on ne veuille les contraindre à la réduire. Ils jugent que cela dimi-

nuerait la rapidité de leur course et les retiendrait ainsi plus longtemps sur la route. Aussi, non-seulement ils desserrent secrètement la seconde soupape et soulèvent de temps en temps le levier pour accroître l'effet de la mitre, qu'ils connaissent fort bien; mais ils glissent quelquefois une lame de métal sous le pivot de la soupape dans l'espoir de tromper sur le vrai degré de la balance.

Les précautions à prendre rendent la recherche des pressions une chose plus délicate qu'elle ne semble d'abord devoir l'être, quand on peut disposer d'un manomètre à mercure. Il faut y ajouter encore que la vapeur se refroidit nécessairement dans le long trajet qu'elle fait de la machine à l'instrument. Elle doit suivre alors un tube métallique de 8 ou 10 pieds de longueur sur $\frac{1}{2}$ pouce de diamètre, et doit par conséquent arriver sur le mercure avec une pression moindre que celle de la chaudière.

Ces difficultés proviennent évidemment de ce que le manomètre à mercure ne peut être attaché à la machine; car alors on y lirait immédiatement la pression dans le moment du travail, et il n'y aurait plus nécessité de faire une seconde expérience.

Il nous semble donc qu'on remplacerait très-avantageusement cet instrument par le suivant:

La machine ayant ses deux soupapes de sûreté à l'ordinaire, et construites d'une manière quelconque, R (fig. 19) est un robinet fixé à la chaudière et pouvant au besoin donner issue à la vapeur qu'elle

contient. L'orifice de ce robinet porte extérieurement des filets de vis, afin qu'on puisse y visser l'instrument. La partie supérieure de la figure représente l'instrument lui-même. Il présente un tube qui doit faire le prolongement de l'ajutage du robinet R. Ces deux pièces étant rapprochées l'une de l'autre et portant chacune des filets de vis à l'extérieur, un écrou mobile E les réunit solidement l'une à l'autre pour le temps de l'expérience, comme on le voit sur la figure. Alors en tournant le robinet R, la vapeur aura accès dans le tube de l'instrument.

En outre, A est une soupape dont l'aire est 1 pouce carré ou toute autre unité de surface, selon celle qu'on veut employer à mesurer la pression. Cette soupape agit en voulant se soulever contre un levier AC, dont l'extrémité opposée est retenue par la pression d'un ressort à spirale, formant une balance ordinaire. Les deux branches de ce levier sont égales entre elles, et leurs poids, en y comprenant le disque de la soupape pour le côté correspondant, se font exactement équilibre autour du pivot C. Enfin le point S est assujetti par un écrou en quelque point de la chaudière pour donner de la stabilité à l'ensemble.

L'instrument étant donc attaché à la machine et le robinet ouvert, la vapeur agira contre la soupape, et il résulte des dispositions que nous avons expliquées que l'inspection de la balance donnera immédiatement la pression effective par pouce carré.

En effet la position de la balance fait qu'il n'y a aucune addition à faire pour le poids de la tige ou du pied; l'équilibre du levier fait qu'il n'y a non plus aucune correction à faire pour son poids, et enfin, les deux soupapes ordinaires de la machine donnant issue au trop plein de vapeur, la soupape A ne soufflera jamais. On sera libre d'en abaisser l'écrou jusqu'à ce que la balance fasse juste équilibre à la pression de la vapeur, et ainsi aucun effet de mitre ne viendra compliquer ou fausser le résultat.

La facilité de trouver immédiatement la pression réelle, sans être obligé de refaire une seconde expérience dans ce but exprès, l'exactitude de l'observation provenant de ce que la vapeur n'a pas besoin de parcourir un long trajet pour arriver à l'instrument, l'avantage de le porter sur la machine et de l'attacher au besoin à tout autre; enfin son peu de cherté, tandis que le manomètre à mercure est très-dispendieux, nous font penser que ce nouveau manomètre pourra être de quelque utilité. Avec lui tous les embarras qu'on a pu remarquer plus haut dans nos expériences auraient disparu sur-le-champ. Il peut d'ailleurs également servir à déterminer la pression, soit dans les machines locomotives, soit dans toute autre machine à vapeur à haute ou à basse pression.

L'instrument est susceptible d'une vérification facile : 1° en en mesurant la soupape, lorsqu'il est séparé de la machine; 2° en examinant si le levier

se tient de lui-même en équilibre sur le pivot; 3° en détachant la balance et y suspendant des poids connus pour voir s'ils coïncident avec les divisions.

§ 3. *Tableau comparatif des divers modes d'exprimer la pression.*

Pour compléter ce qui a été dit dans cet article, en mettant le lecteur à même de rapporter les expériences à des mesures différentes de celles que nous avons employées, nous joignons ici un tableau de correspondance des divers modes d'exprimer la pression en mesures françaises et anglaises. On est parti de la mesure par atmosphères, qui est commune aux deux pays.

Les degrés intermédiaires à ceux du tableau se rempliront facilement par interpolation.

Tableau comparatif des divers modes d'exprimer la pression.

PRESSION TOTALE DE LA VAPEUR.					EXCÈS DE CETTE FORCE SUR LA PRESSION ATMOSPHÉRIQUE, ou pression effective.		
En atmosphères.	En livres anglaises, par pouce carré.	En centimèt. de mercure.	En kilogr. par centimètre circulaire.	En kilogr. par centimètre carré.	En livres anglaises, par pouce carré.	En kilogr. par centimètre circulaire.	En kilogr. par centimètre carré.
1	14,7	76	0,812	1,033	»	»	»
1,5	22	114	1,217	1,549	7,3	0,406	0,516
2	29,4	152	1,623	2,066	14,7	0,812	1,033
2,5	36,7	190	2,029	2,582	22	1,217	1,549
3	44,1	228	2,435	3,099	29,4	1,623	2,066
3,5	51,4	266	2,841	3,615	36,7	2,029	2,582
4	58,8	304	3,246	4,132	44,1	2,435	3,099
4,5	66,1	342	3,652	4,648	51,4	2,841	3,615
5	73,5	380	4,058	5,165	58,8	3,246	4,132
5,5	80,8	418	4,464	5,681	66,1	3,652	4,648
6	88,2	456	4,870	6,197	73,5	4,058	5,165

CHAPITRE TROISIÈME.

DE LA RÉSISTANCE DES WAGONS SUR LES RAILWAYS.

§ 1. *Nécessité de nouvelles recherches à cet égard.*

D'après la description que nous avons faite de la machine, on voit que la vapeur, en agissant sur les pistons, communique aux roues un mouvement de rotation qui doit faire infailliblement avancer la machine, pourvu que le train qui la suit n'oppose pas une plus grande résistance que la force dont dispose cette machine.

La première recherche à faire dans le mouvement des locomotives consiste donc à connaître la résistance qu'opposent les trains qu'elles ont à conduire.

Ces trains consistent en un nombre plus ou moins considérable de voitures, appelées wagons, sur lesquelles sont chargées les marchandises. Leur résistance au mouvement dépend non-seulement de leur pesanteur, mais encore de l'état du railway et de la construction plus ou moins perfectionnée

des voitures. Le but de l'établissement d'un railway étant de produire un chemin parfaitement dur et uni, sur lequel les voitures roulent facilement, s'il arrive que ce railway soit mal entretenu, et qu'il s'écarte plus ou moins des conditions pour lesquelles il a été établi, il est clair que la résistance qu'opposera le train le long de ces rails en sera d'autant plus grande. Il en sera de même si les voitures, étant mal construites ou mal réparées, ont un frottement considérable.

D'après cette observation, on voit que la force nécessaire pour transporter un poids donné, une tonne, par exemple, pourra ne pas être la même sur tous les railways, ni avec tous les genres de voitures. Sur des rails parfaitement unis et avec un wagon bien graissé et bien construit, le halage d'une tonne peut n'exiger qu'une force de 8 lb. Nous voulons dire qu'un poids de 8 lb., suspendu au bout d'une corde passant sur une poulie, suffira dans ce cas pour faire avancer un chariot chargé pesant une tonne. Sur un autre railway au contraire et avec une autre construction de voitures, la même charge d'une tonne peut exiger une force de 10 lb. et peut-être davantage.

Les anciens wagons sur lesquels quelques expériences avaient été faites, exigeaient une force de 10 à 12 lb. par chaque tonne de poids de la charge. Depuis, ces voitures avaient été perfectionnées et elles n'avaient été soumises à aucune expérience faite sur une grande échelle et dans l'état ordinaire

du service. On s'était contenté, au moment de l'introduction de nouveaux wagons à Liverpool, de faire un essai sur un seul et dans le moment où il sortait des mains de l'ouvrier. Mais, comme ce wagon avait été soigneusement huilé exprès pour l'expérience, qu'il n'avait encore reçu aucun choc qui pût fausser ou couder les fusées d'essieux, déjeter les roues, ou empêcher les deux essieux de se suivre carrément dans la voie; comme les roues étaient parfaitement rondes et tournées avec soin; enfin que les rails avaient été balayés soigneusement, on ne pouvait guère considérer le résultat d'une telle expérience comme un résultat pratique usuel. Aussi continuait-on sur le railway de Liverpool à prendre le frottement des trains à 10 lb. par tonne. Ces données incertaines ne pouvaient convenir à un nouveau travail.

Il devenait nécessaire de placer un autre point de départ aux calculs qui devaient se faire sur des wagons modernes. Cependant l'occasion des expériences que nous allons rapporter à ce sujet se trouva dans le service même des locomotives. Ce furent elles-mêmes en quelque sorte qui indiquèrent l'erreur que l'on faisait dans l'appréciation des résistances qu'elles surmontaient. Ce point doit être noté, parce qu'il prouve à la fois et la perfection des machines et la correction des calculs auxquels il est possible de les soumettre. Ainsi, il donne plus de confiance dans les autres résultats pareillement obtenus; c'est pourquoi nous en

faisons mention. Pendant notre séjour à Liverpool en 1834, ayant fait sur la force des locomotives un grand nombre d'expériences, il se trouva que l'une d'elles, faite avec *Atlas*, et que nous aurons occasion de rapporter plus loin, parut excéder la limite de force de cette machine. Elle avait, le 23 juillet, sur une pente à $\frac{1}{1300}$, tiré quarante wagons pesant 190 tonnes, et le diamètre de son cylindre était de 12 pouces. D'apres les idées admises sur le railway sur la résistance des trains, on ne pouvait expliquer ce fait qu'en supposant que la machine avait d'autres proportions que celles qu'elle était considérée avoir, ou le railway une autre pente que celle qu'avait donnée le nivellement, ou le train un autre poids que celui inscrit sur les registres du pesage. D'autres expériences faites par nous avec d'autres machines, dans d'autres circonstances et en d'autres points du railway, nous ayant donné déjà des résultats pareils, il nous était démontré que la résistance des trains ou le frottement des wagons ne pouvait excéder 8 lb. par tonne et que c'était là qu'on commettait une erreur; à moins qu'on ne voulût en supposer une sur les dimensions de toutes les machines et sur le nivellement de toutes les parties de la route.

Il devenait donc nécessaire de s'assurer du fait d'une manière directe, en établissant une suite d'expériences à cet égard; mais il était surtout satisfaisant d'avoir été conduit à la connaissance de la vérité par le calcul lui-même,

puisque alors les expériences en devenaient la vérification.

§ 2. *Du frottement déterminé par le dynamomètre.*

Le moyen le plus naturel d'arriver à la détermination du frottement ou de la résistance des wagons, paraissait être d'employer la dynamomètre, puisqu'il donne directement la force de traction nécessaire pour exécuter le mouvement; mais comme l'action du tirage, soit par des hommes, soit par tout autre moteur animé, ne s'exécute que par à-coups, le dynamomètre ne fait qu'osciller entre des limites très-écartées et ne peut donner aucun résultat certain. Il nous sembla cependant que si le tirage était effectué par une machine dont l'effort est toujours égal et dont le mouvement est en outre réglé par la masse même du train, il nous sembla que le dynamomètre n'aurait peut-être que des oscillations très-peu étendues, et que les pulsations de la machine seraient surtout insensibles sur les dernières voitures.

C'est pourquoi, au moment que la machine *Leeds* partait avec un train de douze wagons, après que toute la masse fut mise en mouvement et tandis que ce mouvement se continuait à la vitesse uniforme de trois à quatre milles par heure, la chaîne de halage des trois dernières voitures fut décrochée et remplacée par une balance à ressort circulaire, disposée à l'avance pour cet objet. La tige de la

balance était attachée à la traverse de derrière du neuvieme wagon, et les trois suivants, qui étaient les derniers du train, tiraient sur le style. L'experience avait lieu entre les milles 1 ½ et 2 du railway de Liverpool sur un espace qui est exactement de niveau.

Nous nous attendions à voir la balance à peu près invariable; nous fûmes trompés dans cette attente. Le style se tenait en général aux environs du point marquant 100 lb., mais il éprouvait presque constamment de grandes variations qui allaient de 50 lb. au moins à 170 lb. au plus; et même deux ou trois fois, dans des espèces d'à-coups extraordinaires que donnait la machine, on voyait l'aiguille aller jusqu'au bout de la balance qui indique 220 lb. Comme cependant ce dernier cas n'arrivait qu'accidentellement, on ne pouvait le confondre avec le tirage régulier. En effet, après le choc qui donnait lieu à cet écart extraordinaire, on voyait aussitôt l'aiguille revenir à son point habituel de 100 lb. environ et reprendre ses oscillations entre 50 et 170 lb. Après avoir attendu vainement de voir le mouvement se régler d'une manière plus certaine, il nous parut que l'expérience n'était pas susceptible d'une plus grande précision.

La variation de l'aiguille entre 50 et 170 lb. donnait 110 lb. pour moyenne.

Les trois wagons pesaient ensemble 14t,27; ainsi l'expérience donnait $\frac{110^{lb}}{14,27}$ ou 7^{lb} 70 de résistance par tonne.

Il est essentiel de remarquer, pour ce qu'on verra plus loin, que cette expérience était débarrassée de la résistance directe de l'air; car ces trois wagons étant les derniers du train, n'éprouvaient de la part de l'air qu'un frottement latéral peu considérable, surtout en considérant que la vitesse n'était que de trois à quatre milles à l'heure. Toute la résistance directe de l'atmosphère s'exerçait sur la première voiture du train, sur laquelle ne portait pas notre expérience.

C'était une approximation qui pouvait être utile, mais il fallait arriver à des résultats plus positifs.

En conséquence, un emplacement convenable ayant été choisi sur le railway de Liverpool au pied du plan incliné de Sutton, à la distance de 11 $\frac{1}{2}$ milles de Liverpool, le nivellement en fut pris avec une stricte exactitude en dixième de pouce et les expériences y furent commencées sur le principe suivant.

§ 3. *Du frottement déterminé par l'angle du frottement.*

Soit un corps pesant abandonné à lui-même sur un plan incliné AB (figure 23) et glissant sans frottement jusqu'au pied de ce plan; soit en ce point un autre plan faisant suite au premier, et sur lequel le même corps continue son mouvement.

Le corps sera entraîné sur le plan par la gravité, mais cette force n'agira pas en son entier. Elle se décomposera en deux forces, dont l'une normale

au plan sera détruite par la résistance de celui-ci, et la force accélératrice effective du mouvement sera la composante dans le sens du plan. Si donc g exprime l'intensité de la gravité, et θ' l'angle du plan avec la verticale, la force accélératrice du mouvement sera

$$\varphi = g \cos. \theta';$$

mais la force accélératrice a pour expression générale $\varphi = \frac{dv}{dt}$, v étant la vitesse et t le temps, donc

$$g \cos. \theta' = \frac{dv}{dt}.$$

De plus, dans tout mouvement on peut, durant un intervalle de temps infiniment petit, regarder le mouvement comme uniforme; ce qui, en exprimant par x l'espace parcouru, donne

$$v = \frac{dx}{dt},$$

ou

$$dt = \frac{dx}{v}.$$

Ainsi l'équation ci-dessus devient

$$v dv = g \cos. \theta' dx.$$

Intégrant, et observant que la vitesse est nulle au point de départ, ou que $x = 0$ donne $v = 0$, on a

$$\frac{v^2}{2} = g \cos. \theta' x.$$

Cette équation donnera la vitesse du mobile en un point quelconque du premier plan.

Ce mobile étant donc arrivé en B, si nous exprimons par x' la distance de ce point au point de départ, mesurée le long du plan, sa vitesse sera

$$V^2 = 2g \cos. \theta' x'.$$

C'est la vitesse qui anime le corps au moment qu'il va passer du premier sur le second plan. Cette vitesse lui étant appliquée dans la direction du premier plan, ne produirait dans la direction du second qu'une composante résultant de l'inclinaison relative des deux plans, si le passage de l'un sur l'autre se faisait brusquement; mais si le passage est effectué par une courbe de raccordement continue, on sait qu'il n'y aura pas de déperdition de vitesse ou de force vive, et le corps commencera son mouvement sur le second plan avec la même vitesse qu'il avait en quittant le premier. Ce sera donc sa vitesse initiale en commençant sa descente sur le second plan.

En outre, le corps continuera d'être sollicité par la gravité. θ'' étant l'angle d'inclinaison du second plan sur la verticale, cette gravité produira une force accélératrice

$$\varphi' = g \cos. \theta'',$$

et l'on aura encore sur ce plan, par un calcul semblable au précédent :

$$v^2 = 2g \cos. \theta'' x + C.$$

La constante arbitraire C se détermine par la condition que $x = 0$ doit donner pour v la vitesse initiale de ce second mouvement; et comme nous avons vu que cette vitesse initiale est

$$V^2 = 2g \cos. \theta' x',$$

on a

$$C = 2g \cos. \theta' x'.$$

Substituant cette valeur de C, la vitesse en un point quelconque du second plan a pour expression:

$$v^2 = 2g \cos. \theta'' x + 2g \cos. \theta' x'.$$

En outre z' et z'' étant les hauteurs verticales parcourues sur chaque plan par le mobile, on a

$$x' \cos. \theta' = z' \text{ et } x \cos. \theta'' = z''.$$

Ainsi l'équation peut se mettre sous la forme:

$$v^2 = 2g (z' + z''),$$

ou

$$v^2 = 2gz,$$

en exprimant par z la hauteur verticale du point où se trouve le mobile au-dessous du point du départ.

Telle est donc l'équation du mouvement dans le cas d'un corps se mouvant sans aucun frottement ou résistance quelconque. On voit que dans cette équation on n'aura $v = 0$ que pour le cas de $z = 0$; c'est-à-dire que le corps une fois mis en mouvement, ne s'arrêtera qu'après avoir remonté le second plan, supposé alors incliné en sens inverse du premier, jusqu'à la hauteur même de son point de départ.

Mais si le corps se meut avec frottement, comme l'expérience a prouvé que ce frottement ne dépend nullement de la vitesse, il agira comme une force uniformément retardatrice, contraire à la gravité le long du plan. Par l'introduction de cette nouvelle force, les forces accélératrices du mouvement sur chacun des deux plans ne seront donc plus

$$g \cos. \theta' \text{ et } g \cos. \theta'';$$

mais bien

$$g \cos. \theta' - f \text{ et } g \cos. \theta'' - f,$$

f exprimant la force retardatrice due au frottement.

Dans ce cas la vitesse en un point quelconque m du second plan, dont la distance au point B est exprimée par x, sera par conséquent

$$v^2 = 2(g \cos. \theta'' - f)x + 2(g \cos. \theta' - f)x'.$$

Effectuant; et remplaçant $x \cos. \theta''$ par z'', $x' \cos. \theta'$ par z', et enfin $z' + z''$ par z, il vient

$$v^2 = 2[gz - f(x' + x)]$$

Cette équation donne la vitesse en un point quelconque du mouvement sur les plans, avec considération du frottement. Dans ce cas, on voit, d'après l'équation, qu'on ne peut avoir $v = 0$ que quand $z = 0$, $x' = 0$, $x = 0$, c'est-à-dire à l'origine du mouvement, ou bien quand on aura la relation

$$gz - f(x' + x) = 0.$$

Si donc le corps une fois mis en mouvement s'arrête en un point quelconque, m par exemple, c'est que ce point satisfait à la condition ci-dessus, ou qu'on a

$$gz = f(x' + x).$$

Si nous multiplions les deux membres de cette équation par M, masse du corps en mouvement, il vient

$$gMz = fM(x + x'),$$

g étant l'action de la gravité sur un des éléments du corps, gM est son action sur la totalité de ce corps, ou son poids, que nous exprimerons par P. De même, f est l'action retardatrice du frottement sur chaque élément du mobile, et fM est son action sur la totalité de ce corps, ou le frottement de la masse. En exprimant ce frottement par F, et faisant ces deux substitutions, l'équation peut s'écrire sous la forme :

$$Pz = F(x + x').$$

Supposons qu'ayant dans l'origine laissé le mobile libre sur les plans inclinés, il soit descendu jusqu'au point m par exemple et n'ait pas été plus loin, ce point devra satisfaire à la condition ci-dessus, sans quoi le mobile ne s'y serait pas arrêté. Si donc nous mesurons sur les lieux les quantités z, x et x', et que nous connaissions le poids P, l'équation ne contiendra plus d'inconnue que la quantité F; ainsi, cette équation nous en donnera la va-

leur, savoir,

$$F = P\frac{z}{x+x'}.$$

Par conséquent, lorsqu'un corps d'un poids donné P, placé dans les circonstances ci-dessus, s'arrête en un certain point m, on aura la valeur du frottement qui a arrêté ce corps en divisant la hauteur totale dont le corps est descendu par la distance totale qu'il a parcourue.

Cette détermination ayant été faite, il est clair que si l'on construisait un plan incliné dont la hauteur fût z, et la longueur fût $x + x'$, et qu'on y plaçât le corps, celui-ci y resterait en équilibre. En effet, la gravité qui tend à entraîner le corps serait précisément égale au frottement qui le retient.

Le rapport $\frac{z}{x+x'}$ nous donne donc ce qu'on appelle l'angle du frottement, et c'est pour ce motif que nous avons appelé principe de l'angle du frottement celui que nous venons d'expliquer et que nous allons employer dans les expériences suivantes.

§ 4. *Expériences sur le frottement des wagons.*

D'après ce principe, voici comment les expériences furent établies sur une des pentes du railway de Liverpool à Manchester.

D'un point pris sur le plan incliné de Sutton, à 50 chaînes ou 3300 pieds anglais de la base de ce plan, on mesura 34 distances de 10 chaînes ou 330 pieds chacune. On planta en chacun de ces points

un jalon numéroté et l'on en prit exactement le nivellement. Voici les cotes de ce nivellement exprimées en pieds et décimales de pied :

Numéros des jalons.	Distance totale au 1er jalon, en pieds.	Chute totale au-dessous du 1er jalon en pieds et décimales de pied.	
0.	0pi	0pi	Point de départ.
1.	330	3,47	
2.	660	7,07	
3.	990	10,62	
4.	1,320	14,36	
5.	1,650	18,17	
6.	1,980	21,77	
7.	2,310	25,53	
8.	2,640	28,98	
9.	2,970	32,07	
10.	3,300	34,61	Pied du plan incliné; ou plutôt milieu de la courbe de raccordement.
11.	3,630	35,06	
12.	3,960	35,19	
13.	4,290	35,23	
14.	4,620	35,37	
15.	4,950	35,71	
16.	5,280	36,17	
17.	5,610	36,44	
18.	5,940	36,66	
19.	6,270	36,80	
20.	6,600	36,92	
21.	6,930	37,06	
22.	7,260	37,14	
23.	7,590	37,22	
24.	7,920	37,37	
25.	8,250	37,54	
26.	8,580	37,63	
27.	8,910	37,92	
28.	9,240	38,14	
29.	9,570	38,35	
30.	9,900	38,54	
31.	10,230	38,67	
32.	10,560	38,77	
33.	10,890	38,92	
34.	11,220	39,08	

Sur le terrain où se font les expériences, un peu plus loin que le pied du plan incliné, les wagons ont à traverser trois jonctions de voie dont chacune nécessite trois passages d'aiguilles ou cœurs, comme on le voit sur la figure 24. C'est donc en tout neuf pièces de croisement, soit sur un côté des rails soit sur l'autre. Au passage de chacun de ces obstacles les wagons heurtent contre l'inégalité de la voie et doivent être retardés dans leur marche. Ainsi le terrain est défavorable aux expériences, et tend à faire paraître le frottement un peu plus considérable qu'il n'est réellement.

Les wagons employés aux expériences sont de la construction suivante. Ils consistent en une simple plate-forme portée sur quatre ressorts. Leurs roues ont 3 pieds anglais de diamètre, ou en mesures métriques $0^{m},915$, et sont attachées sur l'essieu qui tourne avec elles. Le corps de voiture a ses points d'appui sur l'essieu, mais en dehors des roues. Il porte sur la fusée d'essieu qui dépasse la roue, et qui a $1^{po}\frac{3}{4}$ ou $4^{cm}\frac{1}{2}$ de diamètre. Le coussinet de support est garni d'une pièce de cuivre, au point où il frotte sur la fusée d'essieu; et la graisse placée dans une petite boîte en fonte au-dessus de l'essieu, y coule lentement, mais sans interruption, durant toute la durée du mouvement. Cette boîte à graisse, remplie tous les matins, suffit au besoin de toute la journée. Dans les expériences, aucun changement n'a été fait aux dispositions ordinaires; le tout a été laissé tel qu'il est

dans le travail journalier, soit à l'égard des wagons, soit à l'égard des rails. Parmi les wagons, il s'en trouve quelques-uns dont la fusée d'essieu, au lieu d'avoir d'un bout à l'autre un diamètre uniforme de $1^{po}\ \frac{3}{4}$, est renforcée près de l'épaulement de $\frac{3}{4}$ de pouce, lesquels sont, au contraire, enlevés de l'extrémité de cette fusée. Ainsi, la fusée est alors composée de trois parties cylindriques égales en longueur, dont les diamètres sont:

2 $\frac{1}{8}$ pouces à l'épaulement; ou en centimètres.	. .	5^{cm}, 40
1 $\frac{3}{8}$ pouces à la partie moyenne; ou *id.*	. .	4 , 45
1 $\frac{3}{8}$ pouces à la pointe de la fusée; ou *id.*	. . .	3 , 50

Cette disposition a pour but de laisser le diamètre moyen tel qu'il était auparavant, mais en reportant la plus grande force au point qui paraît souffrir le plus. Ces essieux sont en petit nombre, et ne sont qu'un essai dont l'expérience n'a pas encore confirmé l'avantage.

I. Le 29 juillet 1834, cinq wagons ayant été pris au hasard, et chargés de briques, furent conduits sur le lieu des expériences par la machine *Sun*. Le train était suivi d'un sixième wagon vide. Le poids des cinq wagons, pris exactement avec leur charge, s'élevait à 30',65, et, inclus le poids de dix personnes non comprises dans ce pesage, se montait à 31',51, ou à 6',26 par voiture.

Le milieu du train ayant été soigneusement placé en face du point de départ sur le plan ou du

jalon n° 0, et la machine s'étant d'abord éloignée, les freins furent levés en même temps à un signal donné, et les cinq wagons furent livrés à leur gravité sur le plan. Ils continuèrent leur mouvement jusqu'à 33 pieds au delà du jalon n° 30, ayant ainsi parcouru une distance totale de 9933^{pi} avec une différence de niveau entre le point de départ et le point d'arrivée de $38^{pi},55$.

Ainsi, en se reportant au principe précédemment exposé, dans cette expérience, on avait $x + x' = 9933$ pieds, $z = 38^{pi},55$, et le frottement était le $\frac{38.55}{9933}$ ou le $\frac{1}{258}$ du poids. Par conséquent, le frottement d'une tonne était $\frac{1^t}{258} = \frac{2240^{lb}}{258} = 8^{lb},69$. Ce frottement comprenait toutefois la resistance de l'air et était accru par la circonstance mentionnée plus haut du passage sur 9 pièces de croisement au pied du plan.

II. Après cette première expérience, trois cents briques furent déchargées de chacun des wagons. Le poids de cent de ces briques ayant été soigneusement pris et trouvé de 855 lb., on voit que c'était un allégement de 2565 lb., ou $1^t,145$ pour chaque voiture. Le poids des cinq wagons chargés, y compris les mêmes dix personnes, s'élevait donc alors à $25^t,58$, ou $5^t,12$ pour le poids moyen de chacun d'eux.

En cet état, les wagons furent ramenés au même point de départ que précédemment, et abandonnés

de nouveau à leur gravité sur le plan. Ils continuèrent leur mouvement jusqu'à 84 pieds au delà du jalon n° 28, ayant parcouru une distance totale de 9324 pieds sur une différence de niveau de 38pi,19. Dans cette seconde expérience le frottement était $\frac{1}{244}$ du poids, ce qui donnait par tonne un frottement de 9lb,17. Ainsi, la résistance par tonne était moindre dans le premier cas que dans le second.

Enfin les mêmes wagons furent encore ramenés au point de départ. Ils furent alors livrés isolément et successivement à eux-mêmes sur le plan, ainsi que le wagon vide, et donnèrent les résultats suivants :

	No du wagon.	Poids chargé.	Distance parcourue.	Différence de niveau.	Frottement.	Frottement par tonne.
		t.	pieds.	pieds.		lb.
III. . . .	n° 294. . .	4,65. .	7326 . .	37,16. .	. $\frac{1}{197}$. .	11,36
IV.	100. . .	5,15. .	6663 . .	36,95. .	. $\frac{1}{180}$. .	12,42
V	196. . .	5,20. .	7455 . .	37,19. .	. $\frac{1}{200}$. .	11,17
	111. . .	5,00. .	arrêté par erreur. .		»	»
	150. . .	4,85. .	arrêté par erreur. .		»	»
VI. wagon vide.	202. . .	1,85. .	6204 . .	36,78. .	. $\frac{1}{169}$. .	13,28

Le wagon n° 100 au moment de l'arrivée avait une de ses boîtes de roue très-chaude, ce qui explique pourquoi il continua son mouvement moins loin que les autres chargés comme lui. Le wagon vide n'avait que très-peu de hauteur, n'étant composé que d'une plate-forme entourée d'une balustrade à jour.

D'après cette expérience, chacun des wagons chargés, pris séparément, avait une résistance moyenne de 11^{k},3 par tonne; et les cinq mêmes voitures réunies en un seul train, n'avaient qu'une résistance de 9^{k},17 par tonne. Cette différence en faveur d'un plus grand nombre de voitures tenait évidemment à la resistance de l'air dont l'effet direct ne s'exerce que sur la première voiture. Si le train ne se compose que d'un seul wagon, celui-ci doit supporter à lui seul toute cette résistance; mais s'il se compose de plusieurs, la résistance de l'air restant la même, se répartit sur l'ensemble des wagons et devient par là bien moins sensible sur chacun d'eux. Le même effet se reconnaît dans la première expérience comparée à la seconde. On y voit un train plus pesant avoir une moindre résistance par tonne; parce que l'obstacle de l'air, qui restait le même dans les deux cas, se répartissait entre un plus grand nombre de tonnes dans le premier cas que dans le second.

Il parut donc nécessaire, pour compléter la recherche qui nous occupait, de faire d'autres expériences avec des trains de divers poids et en diverses circonstances. Dans les expériences qui suivent, on prit les wagons, non plus chargés de briques, mais de marchandises diverses, selon que le commerce les offrait dans le service usuel du railway.

VII. Le lendemain, 30 juillet, un train de dix-neuf wagons chargés fut conduit au même lieu par la ma-

chine MARS. Les dix-neuf wagons pesaient ensemble 92 tonnes exactement, ce qui donnait $4^t,84$ pour le poids moyen de chacun d'eux. Le train fut encore arrêté sur le plan de manière que le milieu ou centre de gravité de la masse fût juste en face du jalon n° 0, et le tout fut abandonné à la gravité comme dans l'expérience précédente. La masse une fois mise en mouvement s'arrêta 168 pieds au delà du jalon n° 32. Ainsi l'espace parcouru était 10728 pieds, et la différence de niveau entre les points de départ et d'arrivée $38^{pi},85$; ce qui donnait pour le frottement $\frac{1}{276}$ du poids ou $8^{lb},11$ par tonne.

VIII. Le même jour, le convoi de la machine JUPITER, soumis isolément à la même expérience, s'arrêta 27 pieds au delà du jalon n° 18, et a par conséquent un frottement, y compris la résistance de l'air, de $\frac{1}{163}$ ou $13^{lb},76$ par tonne. Ce convoi n'est autre chose qu'un wagon, mais d'une forme particulière qui offre beaucoup de prise à l'air, surtout quand il est peu chargé. Celui de Jupiter était alors presque vide, n'ayant d'approvisionnement que ce qu'il fallait pour ramener à Liverpool les personnes présentes à l'expérience.

Les expériences de ce jour, ainsi que celles du jour précédent, furent faites conjointement avec M. H. Earle, l'un des directeurs du railway, M. J. Locke, ingénieur du grand jonction railway, M. King, ingénieur à Liverpool, et d'autres personnes en relation plus ou moins immédiate avec l'administration de la compagnie.

IX. Le 31 juillet, le convoi d'approvisionnement de la machine Atlas, pesant alors environ $5^t \frac{1}{2}$, fut abandonné à lui-même d'un point situé à 84 pieds au-dessous du jalon n° 1. Il s'arrêta 90 pieds au delà du jalon n° 23, parcourant un espace de 7266 pieds sur $32^{pi},88$ de chute; ce qui met le frottement à $\frac{1}{221}$ ou $10^{lb},13$ par tonne.

X. Le même jour, le train que conduisait la même machine Atlas, composé de quatorze wagons, formant un poids total de $61^t,35$, fut livré à la gravité sur le plan à partir d'un point situé à 24 pieds au-dessus du jalon n° 1. Faute d'un nombre suffisant d'hommes, on n'avait pu arrêter le train auparavant. Il courut jusqu'à 15 pieds en deçà du jalon n° 5, traversant un espace de 9579 pieds sur une chute de $35^{pi},32$; ce qui met le frottement à $\frac{1}{271}$, ou $8^{lb},26$ par tonne.

XI. Le 1er août, un train de dix wagons fut amené au lieu de l'expérience par la machine Vesta. Les dix wagons pesaient ensemble $43^t,72$. On laissa réuni à eux le convoi d'approvisionnement de la machine, pesant 5 tonnes. C'était $48^t,72$ pour onze voitures ou 4^t43 par voiture. Le tout fut abandonné à la gravité sur le plan, et courut jusqu'a 108 pieds au delà du jalon n° 30, parcourant ainsi un espace de 10008 pieds sur une chute de $38^{pi},58$; ce qui met le frottement à $\frac{1}{259}$ ou $8^{lb},64$ par tonne.

XII. Le même jour vingt-quatre wagons ayant été amenés au même lieu par la machine Atlas, ces vingt-quatre wagons pesant ensemble $104^t,5$ et en

outre le convoi de la machine pesant 5^{t},5, en tout 110^{t} pour vingt-cinq voitures ou 4^{t},4 par voiture, furent livrés à la gravité sur le plan et ne s'arrêtèrent que 108 pieds au delà du jalon n° 22. Ils avaient parcouru un espace de 10668 pieds pour 38^{pi},82 de chute; ce qui met le frottement à $\frac{1}{275}$ ou à 8^{lb},151 par tonne.

Enfin des trains complets, savoir, machine, convoi et wagons ensemble, furent soumis à l'épreuve de la gravité sur le plan et donnèrent les résultats suivants.

XIII. Le 2 août, la machine Fury, suivie de son convoi, plus dix-sept wagons, pesant: wagons 81^{t},26, machine 8^{t},2, et convoi 5^{t},5, ou en tout 94^{t},96, fut livrée à la gravité sur le plan. La machine, et son convoi étant, d'après leurs poids, comptés pour trois wagons dans la position du centre de gravité de la masse, le tout fut considéré comme un ensemble de vingt wagons. Le train fut en conséquence arrêté de manière à placer en face du jalon de départ l'intervalle entre le septième et le huitième wagon. La masse mise en mouvement s'arrêta 42 pieds au delà du jalon n° 34. Elle avait parcouru 11262 pieds sur 39^{pi},10 de pente; ce qui met le frottement à $\frac{1}{283}$ du poids, ou 7^{lb},78 par tonne, y compris machine, convoi et wagons.

Le poids total du train, machine comprise, était 94^{t},16. La résistance du tout ensemble, prise au taux de 7^{lb},78, telle qu'on vient de la trouver, était donc 733 lb. Mais la machine soumise isolément et un instant auparavant à l'expérience, avait

été reconnue avoir 113 lb. de frottement, ainsi qu'il sera dit plus loin. Sur ces 733 lb., il n'y en avait donc que 620 applicables aux wagons et au convoi. Leur poids ensemble était 85^{t},96; ainsi la résistance qui leur était propre, était de 7^{lb},21 par tonne.

XIV. Le 2 août, Vulcan, du poids de 8^{t},34, suivi d'un train de vingt wagons pesant 96^{t},30, et d'un convoi pesant 5^{t},5, formant ensemble une masse de 110^{t},14, fut amené au lieu des expériences. Faute d'avoir pu arrêter le train à temps, on ne peut le faire partir que d'un point situé à 18 pieds au-dessous du jalon ordinaire de départ, la machine et son convoi étant comptés ensemble pour trois wagons dans la détermination du centre de gravité. La masse s'arrêta 39 pieds au delà du jalon n° 33. La distance parcourue en 12 minutes 10 secondes était 10911 pieds sur une chute de 38^{pi},75. Le frottement pris sur tout l'ensemble était par conséquent $\frac{1}{282}$ du poids, ou 7^{lb},96 par tonne.

La résistance totale pour les 108^{t},50 dont se composait le train, machine comprise, était 863 lb., et si l'on en déduit pour la résistance propre de la machine 127 lb., d'après une expérience faite immédiatement auparavant et dont on parlera plus loin, il reste pour les 100^{t},16 du train et convoi 736 lb.; ce qui fait 7^{lb},35 par tonne.

XV. Enfin le 15 août, la machine Leeds, pesant 7^{t},07, suivie de son convoi et d'un train de sept wagons dont le poids ensemble et outre la machine

était 33^{t},52, fut également livrée à la même épreuve. Partant exactement du jalon n° 0, elle courut jusqu'à 255 pieds au delà du jalon n° 24. Distance parcourue 8175 pieds; chute 37^{pi},35; Frottement du tout $\frac{1}{219}$, ou 10^{lb},23 par tonne.

Le train complet, pesant 40^{t},59, avait ainsi une résistance totale de 415 lb.; et comme la machine, soumise isolément elle-même à l'expérience, avait été trouvée avoir 112 lb. de frottement, sur ces 415 lb., il n'y en avait que 303 lb. applicables aux wagons et convoi, et ainsi la résistance propre du train était $\frac{1}{248}$, ou 9^{lb},04 par tonne.

§ 5. *Tableau des resultats obtenus dans ces expériences sur le frottement des wagons.*

En réunissant les diverses expériences développées ci-dessus, on forme le tableau qui suit.

Expérience sur la

N° de l'expérience.	DATE de l'expérience.	DÉSIGNATION DES TRAINS.	POIDS du train.	POIDS par wagon.
	1834		tonnes.	tonnes.
VI . . .	29 juillet . .	1 wagon vide.	»	1,85
VIII . .	30 juillet . .	1 convoi d'approvisionnement.	»	4,50
III . . .	29 juillet . .	1 wagon chargé.	»	4,65
IV . . .	*id* . . .	1 wagon chargé.	»	5,15
V. . . .	*id* . . .	1 wagon chargé.	»	5,20
IX . . .	31 juillet . .	1 convoi d'approvisionnement	»	5,50
II. . . .	29 juillet . .	5 wagons chargés. . . .	25,58	5,12
I	*id* . . .	5 wagons chargés. . . .	31,31	6,26
XI . . .	1er août . .	10 wagons chargés et 1 convoi (11 voitures).	48,72	4,43
X. . . .	31 juillet . .	14 wagons chargés. . . .	61,65	4,40
VII. . .	30 juillet . .	19 wagons chargés. . . .	92,00	4,84
XII. . .	1er août. . .	24 wagons chargés et 1 convoi (25 voitures).	110,00	4,40
XV. . .	15 août . . .	7 wagons, 1 convoi et 1 machine en tête . .	40,59	4,00
XIII . .	2 août . . .	17 wagons, 1 convoi et 1 machine	94,96	4,78
XIV. . .	*id*. . . .	20 wagons, 1 convoi et 1 machine	110,14	4,85

résistance des wagons.

DISTANCE parcourue.	DURÉE de la course.	DIFFÉRENCE de niveau.	FROTTEMENT.	Frottement par tonne.	OBSERVATIONS.
pieds.		pieds.		lb.	
6204	»	36,78	$\frac{1}{269}$	13,28	Ce wagon n'a qu'une plate-forme entourée d'une balustrade à jour.
5967	»	36,66	$\frac{1}{263}$	13,76	Cette forme de voiture offre beaucoup de prise à l'air.
7326	»	37,16	$\frac{1}{297}$	11,36	
6663	»	36,95	$\frac{1}{280}$	12,42	Une boîte de roue très-chaude en arrivant.
7455	»	37,19	$\frac{1}{300}$	11,17	
7266	»	32,88	$\frac{1}{322}$	10,15	
9324	10'.20''	38,19	$\frac{1}{244}$	9,17	
9933	10.00	38,55	$\frac{1}{258}$	8,69	
10008	11.45	38,58	$\frac{1}{259}$	8,64	
9579	»	35,32	$\frac{1}{272}$	8,26	
10728	11.00	38,85	$\frac{1}{278}$	8,11	
10668	»	38,82	$\frac{1}{275}$	8,15	
8175	8.50	37,35	$\frac{1}{219}$	10,23	Comprenant le frottement de la machine.
11262	»	39,10	$\frac{1}{288}$	7,78	
10911	12.10	38,75	$\frac{1}{282}$	7,96	

MÊME TABLEAU

Expérience sur la

NUMÉRO de l'expérience.	DATE de l'expérience.	DÉSIGNATION DES TRAINS.	POIDS du train en tonneaux de 1000 kilog.
	1834		tonneaux.
VI.	29 juillet . .	1 wagon vide	»
VIII. . . .	30 juillet. . .	1 convoi d'approvisionnement	»
III.	29 juillet. . .	1 wagon chargé.	»
IV.	*id*	1 wagon chargé.	»
V.	*id*	1 wagon chargé.	»
IX.	31 juillet. . .	1 convoi d'approvisionnement	»
II.	29 juillet. . .	5 wagons chargés	25,98
I	*id*	5 wagons chargés	31,80
XI.	1er août. . .	10 wagons chargés et 1 convoi.	49,48
X.	31 juillet. . .	14 wagons chargés	62,61
VII	30 juillet. . .	19 wagons chargés	93,44
XII	1er août. . .	24 wagons chargés et 1 convoi.	111,71
XV	15 août . . .	7 wagons, 1 convoi et 1 machine.	41,22
XIII. . . .	2 août . . .	17 wagons, 1 convoi et 1 machine.	96,44
XIV. . . .	*id*	20 wagons, 1 convoi et 1 machine.	111,86

EN MESURES FRANÇAISES.

résistance des wagons.

POIDS par wagon en tonneaux de 1000 kilog.	FROTTEMENT.	FROTTEMENT ou résistance par tonneau, en kilogrammes.	OBSERVATIONS.
tonneaux.		kilogrammes.	
1,88	$\frac{1}{169}$	5,95	Ce wagon n'a qu'une plate-forme entourée d'une balustrade à jour.
4,57	$\frac{1}{163}$	6,14	Cette forme de voiture offre beaucoup de prise à l'air.
4,72	$\frac{1}{197}$	5,07	
5,23	$\frac{1}{195}$	5,10	
5,28	$\frac{1}{202}$	4,99	
5,59	$\frac{1}{221}$	4,52	
5,20	$\frac{1}{244}$	4,09	
6,36	$\frac{1}{258}$	3,88	
4,50	$\frac{1}{259}$	3,86	
4,47	$\frac{1}{271}$	3,69	
4,92	$\frac{1}{276}$	3,62	
4,47	$\frac{1}{275}$	3,64	
4,06	$\frac{1}{219}$	4,57	
4,85	$\frac{1}{289}$	3,47	Comprenant le frottement de la machine.
4,91	$\frac{1}{282}$	3,55	

Pendant toutes ces expériences le temps était beau et calme. Aucune précaution particulière n'avait été prise, ni rien changé à l'état ordinaire des wagons ou des rails. La circonstance du passage des trains sur neuf pièces de croisement, au pied du plan, doit faire considérer ces résultats comme un peu plus considérables qu'ils ne seraient généralement sur toute autre partie de la route prise indistinctement.

§ 6. *Frottement des wagons intermédiaires des trains.*

Nous avons déjà fait observer dans les six premières expériences l'influence qu'exerce sur les résultats la résistance de l'air. Quand cinq wagons marchent ensemble, leur résistance au mouvement est de $9^{lb},17$ par tonne, et si les cinq mêmes wagons marchent isolément, leur résistance moyenne par tonne est de $11^{lb},65$. Les autres expériences nous offrent des résultats analogues. En comparant les trains nombreux à ceux qui ne se composent que d'un petit nombre de voitures, on voit constamment diminuer la résistance quand la masse tirée, continuant toujours de couper l'air sur la même surface, comprend cependant un poids plus considérable.

Cette résistance *directe* de l'air ne s'exerce que sur la première voiture du train. Or les six premières expériences faites avec un wagon isolé, nous don-

nent la résistance d'une voiture, lorsqu'elle marche la première. En la déduisant donc dans les autres expériences, nous arriverons à connaître la résistance des wagons intermédiaires des trains, c'est-à-dire le frottement indépendant de la résistance directe de l'air.

Les expériences II, III, IV, V et VI réunies ensemble nous donnent le frottement moyen d'un wagon chargé, à la tête du train, comme étant de $11^{lb},77$ par tonne. Prenons donc l'expérience VII, par exemple : le poids du train était de $25^{t},58$. Chaque tonne avait une résistance de $9^{lb},17$; ainsi la résistance totale était $234^{lb},5$. Soustrayant celle du premier wagon à $5,12 \times 11^{lb},77 = 60,25$, il reste pour les quatre wagons suivants $174^{lb},25$, qui, divisées entre le poids de ces quatre wagons, font $8^{lb},50$ de frottement par tonne.

§ 7. *Tableau des résultats des expériences précédentes sur le frottement des wagons intermédiaires des trains.*

Si l'on fait le même calcul pour chacune des autres expériences, et qu'on y ajoute les résultats pareils, déjà présentés pour les trois expériences où les machines restèrent attachées aux trains, on forme le tableau suivant :

Résistance des wagons intermédiaires des trains, ou après déduction faite de la résistance directe de l'air sur la première voiture.

NUMÉRO de l'expérience.	DÉSIGNATION des trains.	POIDS du train.	POIDS moyen par voiture.	RÉSISTANCE par tonne de la première voiture du train.	RÉSISTANCE par tonne des wagons intermédiaires du train.
		tonnes.	tonnes.	livres.	livres.
II.	5 wagons. . .	25,58	5,12	11,77	8,50
I.	5 wagons. . .	31,31	6,26	11,77	7,92
XI.	11 voitures . .	48,72	4,43	11,77	8,33
X.	14 wagons. . .	61,65	4,40	11,77	7,99
VII. . . .	19 wagons. . .	92,00	4,84	11,77	7,91
XII. . . .	25 voitures . .	110,00	4,40	11,77	7,99
XV. . . .	8 voitures . .	33,52	4,00	15,84	9,04
XIII. . . .	18 voitures . .	86,76	4,78	13,78	7,21
XIV. . . .	21 voitures . .	101,80	4,83	15,22	7,35
Totaux et moyennes.	126 voitures . .	591,00	4,78	»	8,05

MÊME TABLEAU EN MESURES FRANÇAISES.

NUMÉRO de l'expérience.	DÉSIGNATION des trains.	POIDS du train en tonneaux.	POIDS moyen par voiture.	RÉSISTANCE par tonneau de la première voiture du train.	RÉSISTANCE ou frottem. par tonneau des wagons intermédiaires du train.
		tonneaux.	tonneaux.	kilogrammes.	kilogrammes.
II.	5 wagons. . .	25,98	5,20	5,26	3,80
I.	5 wagons. . .	31,80	6,36	5,26	3,54
XI.	11 voitures. . .	49,48	4,50	5,26	3,72
X.	14 wagons. . .	62,61	4,47	5,26	3,57
VII. . . .	19 wagons. . .	93,44	4,92	5,26	3,53
XII. . . .	25 voitures. . .	111,71	4,47	5,26	3,57
XV. . . .	8 voitures. . .	34,04	4,06	7,07	4,04
XIII. . . .	18 voitures. . .	88,11	4,85	6,15	3,22
XIV. . . .	21 voitures. . .	103,39	4,91	6,80	3,28
Totaux et moyennes.	126 voitures . .	600,00	4,86	»	3,59

La résistance moyenne n'est donc que 8 lb. par tonne, ou en mesures françaises $3^{kg},6$ par tonneau, quand on considère seulement les wagons intermédiaires d'un train. Or, dans tous les cas que nous avons à calculer sur les railways, le train est toujours précédé de la machine. C'est donc celle-ci seule qui supporte la résistance directe de l'air; et comme cette résistance se trouve déjà comptée dans ce qu'on nomme le frottement ou résistance passive de la machine, il est clair que tous les wagons ne doivent être comptés que comme voitures intermédiaires. Ainsi leur résistance propre ne doit être portée qu'à raison de 8 lb. par tonne. C'est sur cette donnée que nous établirons la résistance des trains dans toutes nos expériences.

Dans les tableaux précédents, le poids moyen d'un wagon était $4^{t},78$. Ce wagon placé en tête du train, avait une résistance de $11^{lb},77$ par tonne ou 56 lb. pour le tout; et placé dans une situation intermédiaire, sa résistance était $8^{lb},03$ par tonne ou 38 lb. en tout. La différence entre les deux résultats était due à l'obstacle de l'air. L'air créait donc une résistance de 17 à 18 lb. sur un wagon de hauteur modérée, comme étaient ceux-ci, et à la vitesse moyenne des expériences. Cette vitesse était d'environ 12 milles par heure ou 16 pieds par seconde, l'espace de 10000 pieds ayant été moyennement parcouru en 10 minutes. En mesures françaises, l'air produisait une résistance de 8 kilogrammes par wagon, à la vitesse de 19 kilomètres par heure.

Cette détermination est d'accord avec les expériences directes faites sur la force du vent. On sait que, lorsque le vent a une vitesse de 20 pieds par seconde, il exerce sur une surface d'un pied carré une pression un peu moindre que 1^{lb}, ou de $0^{lb},915$. Autrement dit, une surface de 1 pied carré, coupant l'air avec une rapidité de 20 pieds par seconde, éprouve une résistance en livres de $0^{lb},915$ (1). Ainsi, un wagon chargé, qui présente une surface en pieds carrés d'à peu près $22^{pc},5$, doit éprouver de la part de l'air une résistance de 20 livres environ.

Une fois déduction faite de la résistance directe de l'air contre la première voiture du train, on ne voit plus la résistance par tonne dépendre du nombre des wagons. Les différences restantes paraissent être l'effet de circonstances accidentelles, comme état des rails ou du vent, graissage des roues, et autres, qui ne permettent pas à ces sortes d'expériences d'avoir la rigueur mathématique.

§ 8. *Expériences sur le frottement des wagons sans ressorts.*

Les expériences précédentes ayant été faites sur des wagons montés sur ressorts et d'un modèle

(1) Les expériences de Borda donnent, en mesures françaises anciennes, l'effort du vent, à la vitesse de 20 pieds par seconde, comme étant de 1 livre par pied carré.

perfectionné, on pouvait croire que les wagons communs et dépourvus de ressorts offriraient quelque surcroît de résistance au mouvement.

Pour éclaircir ce point, quelques expériences furent entreprises à notre prière sur le railway de Darlington. Elles furent conduites exactement sur le même principe que les précédentes, par les soins de M. Robert B. Dockray.

Les wagons employés sont les wagons communs en usage sur cette ligne. Ils ont des roues de 3 pieds de diamètre comme ceux de Liverpool. Leur poids vide est de 1^{t},30, et de 4 tonnes charge comprise. Ils ne sont pas montés sur ressorts, et l'essieu a 3 pouces de diamètre à sa partie frottante contre le coussinet de support. Nous avons vu que la même partie frottante dans les wagons de Liverpool n'a que 1$^{po}\frac{3}{4}$ de diamètre. Cette différence vient de ce que dans les wagons de Liverpool le support se fait *en dehors* de la roue sur le prolongement de la fusée d'essieu, et cette partie, qui n'a d'autre effort à supporter que le poids du corps de wagon et de sa charge, peut être réduite à ce faible diamètre, tout en conservant au corps d'essieu lui-même sa force accoutumée. Dans les wagons de Darlington au contraire, le support est *en dedans* de la roue comme dans les voitures ordinaires. Le support a donc lieu, non sur la fusée, mais sur le corps de l'essieu; et celui-ci ne peut être diminué au-dessous de 3 pouces de diamètre, parce que non-seulement il doit porter le poids du wagon chargé,

mais il doit encore maintenir les roues dans une situation invariable, en résistant aux pressions latérales et aux forces de torsion qui s'exercent constamment contre ces roues durant le mouvement.

Avec ces wagons, les expériences de frottement donnèrent les résultats suivants :

Expériences sur le frottement des wagons sans ressorts.

NUMÉRO de l'expérience.	NOMBRE des wagons du train.	DISTANCE parcourue par les wagons, avant de s'arrêter.	DIFFÉRENCE de niveau entre les points de départ et d'arrivée.	FROTTEMENT	FROTTEMENT par tonne en livres.	FROTTEMENT par tonneau en kilogramm.
		pieds.	pieds.		livres.	kilog.
I. . . :	12	9552	34,56	$\frac{1}{276}$	8,11	3,62
II. . .	4	9600	34,60	$\frac{1}{277}$	8,07	3,60
III. . .	16	10500	35,04	$\frac{1}{300}$	7,48	3,34
IV. : :	8	9894	34,82	$\frac{1}{284}$	7,88	3,52
			Moyennes.		7,88	3,52

Pendant ces expériences le vent soufflait avec assez de force en faveur du mouvement, ce qui est à considérer ; car on sait que des trains de wagons sont quelquefois entraînés sur les railways à des distances considérables par la seule impulsion du vent. Tous les wagons étaient en bon état, et particulièrement ceux des expériences III et IV qui étaient en outre des meilleurs de la ligne.

Ces expériences ayant, contre l'attente natu-

relle, amené des résultats plus avantageux que ceux qui avaient été obtenus avec des wagons montés sur ressorts, il parut nécessaire de déterminer directement l'influence des ressorts sur la résistance au mouvement.

En conséquence, la plate-forme d'un wagon monté sur ressorts ayant été soulevée par des calles de manière à rendre les ressorts entièrement inutiles, le wagon fut chargé de lingots de plomb montant à 2 tonnes, et dans cet état il fut livré à la gravité sur le plan incliné. Le frottement résultant fut de $8^{lb},58$ par tonne.

Alors les calles furent chassées de dessous la plate-forme qui reposa de nouveau sur les ressorts, et l'expérience répétée de nouveau donna pour frottement par tonne $8^{lb},35$.

Il y a donc un léger avantage à l'emploi des ressorts; mais on voit que cet avantage est facilement compensé par quelque circonstance accessoire, comme des coussinets mieux polis, un meilleur graissage, une charge moins haute, etc., et l'on doit en définitive compter que dans un cas comme dans l'autre, le frottement doit être pris à 8 lb. par tonne ou $3^{kg},6$ par tonneau.

CHAPITRE QUATRIÈME.

DU FROTTEMENT OU DE LA RÉSISTANCE PASSIVE DES MACHINES.

ARTICLE PREMIER.

DU FROTTEMENT DES MACHINES ISOLÉES.

§ 1. *Des divers modes de détermination.*

Après avoir déterminé la résistance qu'opposent les objets à mouvoir, il convenait de connaître aussi la résistance passive propre aux moteurs que nous avons à employer; car ce n'est que le surplus de leur force, au delà de ce qu'il leur faut pour se mouvoir eux-mêmes, que ces moteurs peuvent appliquer au halage des fardeaux.

Le frottement d'une machine locomotive est la résistance propre de cette machine au mouvement. C'est la force qu'il faut lui appliquer pour vaincre tous les frottements qui s'opposent à sa progression, dans le moment où elle exécute le tirage d'un train. Dans l'instant qu'elle exerce cette traction, il lui faut évidemment, 1° une certaine force pour faire avancer le train, ou vaincre la résistance de tous les chariots chargés; et 2° une autre force pour se pousser elle-même en surmon-

tant ses propres frottements. C'est cette seconde force, celle qui pousse la machine, qui est le frottement de cette machine, ou plutôt qui est égale au *frottement de cette machine;* tandis que la première est la *résistance de la charge*, et que l'ensemble des deux forces constitue la *force totale appliquée par le moteur.*

La force nécessaire pour mouvoir une machine locomotive diffère selon trois circonstances différentes :

1° Si la vapeur reste enfermée dans la chaudière sans avoir aucun accès ou sans exercer aucune pression sur le mécanisme, de sorte que la progression de la machine soit produite par un agent extérieur, la machine ne tirant d'ailleurs aucune charge;

2° Si la vapeur est l'agent qui produit le mouvement, mais que, comme dans le premier cas, aucun train ne soit attaché à la machine;

3° Si la machine ne peut se mouvoir sans tirer après elle un fardeau dont la résistance, créant un surcroît de pression sur toutes les parties du mécanisme, doit nécessairement accroître le frottement sur chacun des joints, et ainsi la résistance totale de la machine.

La différence entre le premier et le second cas ne peut être très-grande; car dans les deux circonstances la charge de la machine reste la même, n'étant autre chose que son propre poids. En outre, quel que soit le moyen qui la fait mouvoir, elle avance; ainsi, à chaque tour de roue il y a

une révolution complète, et ainsi un frottement complet de tout le mécanisme. La vapeur aurait appliqué, pour faire mouvoir la machine, une certaine force. Cette force aurait produit des pressions et par conséquent des frottements proportionnels sur tous les points comprimés, comme sur la manivelle de l'essieu et sur tous les joints mouvants en général. Or, dès que nous faisons avancer la machine, nous appliquons une force égale à celle qu'aurait appliquée la vapeur. Ainsi nous produisons et sur la manivelle et sur tous les joints la même pression et, par conséquent, le même frottement qu'y aurait produit la force due à la vapeur. De tous ces joints ou centres de pression, il n'y a donc que ceux sur lesquels la vapeur agit d'une façon directe et particulière, qui cessent d'être comprimés également dans les deux cas. Ces parties étant pressées fortement l'une contre l'autre lorsque la vapeur est admise dans les cylindres, cessent d'éprouver cette pression, et par conséquent ont incontestablement un frottement moindre, quand la vapeur n'a pas de part à la création du mouvement. Mais ces parties sur lesquelles la vapeur exerce une pression directe, se réduisent aux deux tiroirs.

La surface du tiroir, sur laquelle s'exerce la pression de la vapeur, est en général de $7^{po} \frac{1}{2}$ sur 6, ou 45 pouces carrés. C'est donc 90 pouces carrés pour les deux tiroirs ensemble. Lorsque nous parlons de la machine se mouvant seule, et sans tirer

après elle aucun train, nous ne pouvons supposer que la pression de la vapeur dans la chaudière ait besoin d'être à plus de 10 lb. Nous verrons par expérience qu'elle peut n'être que de 4 ou 5 lb. La pression exercée par la vapeur sur les tiroirs est donc au plus de 900 lb. Ainsi, en prenant (1) le frottement du fer sur fer avec enduit et poli à $\frac{1}{10}$ de la pression, ce serait un frottement de 90 lb. Mais on sait que les résistances effectives, en divers points d'une machine, sont en raison des vitesses auxquelles ces parties doivent se mouvoir. Le tiroir ne se meut que de 3 pouces par coup de piston, ou de $\frac{1}{4}$ pied par tour de roue; c'est-à-dire ne parcourt que $\frac{1}{4}$ pied, quand la machine ayant une roue de 5 pieds, avance de $15^{pi},71$. Le frottement du tiroir, considéré comme s'opposant au mouvement de la machine, ne crée donc qu'une résistance définitive de $\frac{90^{lb}}{2\times15,71}$, ou 3 lb. environ. D'où l'on voit que l'on peut regarder dans la pratique le frottement, déterminé soit dans le premier cas soit dans le second, comme étant le vrai frottement de la machine lorsqu'elle ne tire aucune charge.

Quant à la différence entre ces deux premiers cas et le troisième, on sait que le frottement est toujours en raison directe de la pression. Or, il est évident que les pressions qui ont lieu sur les parties frottantes de la machine, varient en proportion de

(1) D'après les expériences de Coulomb sur la résistance des surfaces.

la charge qu'elle tire. Cette loi est vraie, pourvu qu'on comprenne comme faisant partie de la charge le poids de la machine locomotive elle-même. Les seules parties qui fassent exception à cette loi sont: le piston, qui reste dans tous les cas serré de la même manière, la vapeur n'ayant pas accès dans son intérieur; le tiroir, dont le frottement varie avec la pression dans la chaudière, qui ne dépend que secondairement de la charge; et enfin les excentriques, dont le frottement suit celui des tiroirs. Toutes les autres parties de la machine sont assujetties à la règle énoncée plus haut. La principale pression a lieu sur la coudure de l'essieu; et celle-là est en stricte proportion de la charge.

Il y aura donc une considérable différence entre le frottement de la machine sans charge et celui de la machine chargée. C'est à l'expérience que nous aurons recours pour en fixer la détermination.

Nous allons d'abord chercher à connaître le frottement de la machine prise isolément; puis nous reviendrons sur la seconde partie du problème, qui consiste à déterminer l'influence de la charge sur ce frottement. Alors nous aurons le moyen de calculer la résistance passive des locomotives en toute circonstance.

§ 2. *Frottement des machines déterminé par la moindre pression.*

Les réflexions développées plus haut, et tendant

à prouver que la force nécessaire pour mouvoir une machine est sensiblement la même, soit qu'on emploie à la mettre en mouvement la puissance de la vapeur elle-même, soit qu'on se serve de tout autre agent extérieur, nous donnaient deux moyens d'arriver à la connaissance du frottement des machines lorsqu'elles ne tirent point de charge. Le premier consistait à chercher quelle était la moindre pression de vapeur nécessaire à une locomotive pour se mettre d'elle-même en mouvement sur les rails, lorsqu'elle n'avait à vaincre que sa résistance propre; le second n'était autre que la méthode déjà employée à l'égard des wagons. Tous deux furent essayés successivement.

Le principe sur lequel est fondé la première de ces deux méthodes est celui-ci : Si l'on trouve que la vapeur, en exerçant une pression effective connue par pouce carré ou par unité de surface, peut faire avancer la machine, comme on connaît l'aire des deux pistons en pouces carrés, il est facile de calculer quelle est la force totale appliquée par la vapeur sur ces pistons. Puisque cette force suffit pour faire avancer la machine, c'est-à-dire pour surmonter sa résistance passive, il s'ensuit qu'elle donne la valeur de cette résistance. Il faut seulement observer, d'après le principe connu en mécanique sous le nom de principe des vitesses virtuelles, que la pression exercée sur une partie d'une machine, en se transmettant à une autre partie de la même machine, ne conserve

la même intensité que si les deux parties considérées ont la même vitesse. Sinon, la force ou pression se réduit dans la proportion inverse de la vitesse des points d'application. Ce principe se montre d'une manière évidente et *à priori* dans les machines simples comme le levier, le treuil, les moufles, etc. On y reconnaît à la seule inspection que si une force peut, au moyen de la machine, soulever un poids quatre fois plus grand qu'elle, ce n'est qu'en faisant elle-même quatre fois plus de chemin dans le même temps que le poids qu'elle soulève. Dans le cas qui nous occupe, la vitesse du piston est à celle de la machine comme deux fois la course est à la circonférence de la roue, puisque le piston donne deux coups pendant que la roue fait un tour. Une force appliquée sur le piston ne produit donc pour la progression de la machine qu'un effet réduit dans la même proportion, de deux fois la course à la circonférence de la roue.

Soit d le diamètre du piston, $\frac{1}{4}\pi d^2$ sera l'aire d'un des deux pistons, p étant la pression *effective* de la vapeur par unité de surface;

$$\frac{1}{2}\pi\, d^2 p$$

sera la pression effective sur l'ensemble des deux pistons. Si de plus l exprime la longueur de la course, et D le diamètre de la roue, la force effective de translation résultante pour la machine en vertu de cette pression sera donc

$$\frac{1}{2}\pi d^2 p \times \frac{2l}{\pi D} \text{ ou } \frac{pld^2}{D},$$

qui, d'après ce que nous avons dit, donnera la mesure de la résistance passive de la machine.

Il faut noter ici qu'on prend la pression de la vapeur dans le cylindre comme égale à celle qui a lieu dans la chaudière. La raison en est que, dans les expériences que nous allons avoir à faire, le mouvement des machines étant toujours extrêmement lent et le régulateur entièrement ouvert, les deux pressions ont le temps de se mettre en équilibre et ainsi sont égales entre elles. Il faut encore observer que la pression *effective* p de la vapeur, ou l'excès de sa pression réelle sur celle de l'atmosphère, n'est pas la véritable force motrice qui réside dans cette vapeur. La véritable force motrice est la pression réelle ou *totale* de la vapeur, que nous exprimerions par P. Mais d'autre part la résistance sur le piston n'est pas non plus seulement celle qui résulte de la traction de la machine. Elle comprend encore la pression atmosphérique, laquelle s'exerce soit directement soit intermédiairement sur l'autre face du piston, comme sur tout autre corps en communication avec cette atmosphère. Ainsi, nous omettons de part et d'autre une quantité égale, savoir la pression atmosphérique. Cette simplification peut se faire ici, parce que, n'ayant à comparer la puissance et la résistance que dans un cas d'égalité, on ne détruit point cette égalité en retranchant un même nombre de chaque côté.

Pour arriver à connaître la moindre pression qui pouvait mouvoir la machine, il fallait prendre cette machine dans l'instant qu'elle ne fournissait de la vapeur qu'à un très-faible degré d'élasticité. Le soir, après que l'ouvrage était terminé et le feu enlevé du foyer, l'eau de la chaudière commençait à perdre de sa chaleur et la vapeur qui s'en élevait perdait graduellement de sa force; c'était le moment convenable pour s'assurer de la moindre pression à laquelle les machines pourraient se mouvoir sur les rails. La balance à ressort qui ferme la soupape de sûreté permettait de s'assurer de la pression de la vapeur dans la chaudière, en desserrant ce ressort jusqu'à ce qu'il fît précisément équilibre à cette pression. L'index de la balance montrait alors le degré de pression de la vapeur. Pour rendre l'observation plus certaine encore, la machine pouvait être aussitôt amenée au manomètre; et cet instrument donnait la vraie pression par pouce dans la chaudière au moment de l'expérience. C'est de cette manière que furent faites les expériences suivantes.

I. Le 5 juillet, la machine Atlas, cylindre 12 pouces, course 16 pouces, poids 11t,40, roues 5 pieds, 4 roues couplées, est soumise à l'expérience séparée de son convoi.

Le ressort de la balance étant successivement desserré de plus en plus pour montrer la pression de la vapeur dans la chaudière à mesure que celle-ci baisse, on fait les essais suivants :

A 2 livres de pression marquées à la balance, la machine se meut en avant et en arrière, passant du repos au mouvement, ou surmontant outre les frottements ce qu'on appelle inertie de la masse de la machine ; c'est-à-dire non-seulement préservant une vitesse acquise, mais l'acquérant ; ce qui prouve un excédant de force dans la force motrice.

A 1 livre de pression marquée de même, la machine part, passant encore de l'état de repos au mouvement.

La pression baissant encore un peu, la machine *continue* de se mouvoir. En ce moment nous la mettons sous le manomètre. Il marque 4 livres de pression effective par pouce dans la chaudière, la soupape ne portant alors que le poids du levier ou un peu moins, ce que ne permet pas de voir la balance qui ne descend pas au-dessous de zéro.

Le cylindre ayant 12 pouces de diamètre, l'aire des deux pistons était 226 pouces carrés. Ainsi, une pression de 4 lb. par pouce produisait sur le piston une force de $226 \times 4 = 904$ lb., c'est-à-dire pouvait mouvoir une résistance de 904 lb. à la vitesse du piston. Mais à la vitesse de la machine, qui est plus grande dans le rapport de la circonférence de la roue à deux fois la course, ou dans le rapport de $\frac{15,71}{2 \times 1,33} = 5,887$, cette même force ne pouvait surmonter qu'une résistance de $\frac{904^{lb}}{5,887} = 154$ lb.

Ainsi, comme on a vu que la machine continuait encore à se mouvoir au moment qu'on l'a mise sous le manomètre; quoique la pression fût alors réduite à 4 lb., on voit que la résistance de la machine n'excédait pas 154 lb.

Cette première expérience avait été faite avec la machine séparée de son convoi d'approvisionnement, dans le but de ne pas entraver une résistance par l'autre; mais en voulant l'appliquer à des machines plus légères et avec roues non couplées, il en résultait un inconvénient. La pression nécessaire à la machine pour se mouvoir sans convoi était si basse que la balance à ressort ne pouvait la marquer, cette pression étant moindre que le poids du levier lui-même. Un autre inconvénient de cette basse pression était qu'on ne pouvait l'atteindre qu'au moment où la chaudière ne produisait plus de vapeur du tout; de sorte que dans ce moment la pression baissait si rapidement qu'on ne pouvait compter sur l'exactitude de l'expérience.

Mais comme la résistance du convoi d'approvisionnement pouvait être facilement calculée d'après les expériences faites sur le frottement des voitures et déjà insérées plus haut, il devenait facile d'en tenir compte. Ainsi, en laissant le convoi attaché à la machine, les expériences offraient le même degré d'exactitude avec plus de facilité dans l'observation de la pression de la vapeur. C'est pourquoi dans les expériences suivantes, le convoi d'approvisionnement ne fut plus séparé de la machine.

II. Le 21 juillet, la machine *Sun*, cylindres 11 pouces, course 16 pouces, poids $7^t,91$, roues 5 pieds, une paire de roues seulement mise en jeu par le piston, fut soumise à la même expérience.

A 6 lb. de pression à la balance, la machine part suivie de son convoi plein d'eau et de coke.

A 4 lb., de même.

A 2 lb., de même.

A 1 lb. de pression marquée à la balance, la machine part encore.

Avec le poids du levier seul, la balance ne marquant plus aucune pression, la machine part.

La pression encore un peu baissée, la machine ne part pas; mais une fois mise en mouvement elle continue ce mouvement.

En cet instant nous la mettons sous le manomètre; il marque $5^{lb}\frac{1}{2}$ de pression par pouce. Ainsi, avec cette pression la machine peut se mouvoir suivie de son convoi.

L'aire des deux pistons (11 pouces de diamètre) étant 190 pouces carrés, une pression de $5^{lb},5$ par pouce produisait sur le piston une force de $190 \times 5^{lb},5 = 1045$ lb. à la vitesse du piston, et ainsi une traction de $\frac{1045^{lb}}{5,887} = 177^{lb},5$ à la vitesse de la machine. C'était donc la force nécessaire pour mouvoir la machine et son convoi. Or, le convoi plein d'eau et de coke pesait $6^t,50$; et d'après les expériences sur le frottement des voitures, chaque

A 2 lb., de même.

A 0, elle part de même, recule et repart en sens contraire.

A 1 lb. au-dessous de zéro, elle exécute les mêmes mouvements.

A 2 lb. au-dessous de zéro, elle part encore en avant et en arrière. La pression baisse encore un peu et la machine a juste la force de se mouvoir.

En ce moment on l'amène au manomètre; la pression est de $4^{lb}\frac{1}{2}$. D'après les proportions de cette machine rapportées plus haut, une pression de $4^{lb}\frac{1}{2}$ par pouce carré sur le piston produisait une force de traction sur la machine de 163 lb.; déduisant 52 lb. pour le convoi, restait pour la résistance propre de la machine 111 lb.

§ 3. *Frottement des machines, déterminé au dynamomètre.*

En même temps que la résistance passive des machines était déterminée de cette manière, d'autres essais étaient faits également pour arriver à l'évaluation de cette même résistance par le moyen du dynamomètre.

V. Le 22 juillet au matin, la machine *Vulcan*, cylindres 11 pouces, course 16 pouces, roues 5 pieds, poids $8^{t},34$, une paire de roues seulement mue par le piston, étant prête à partir pour Manchester, sa chaudière pleine d'eau et son foyer plein de coke, fut séparée de son convoi. Une balance à ressort circulaire fut attachée à la machine,

et un levier passé dans l'anneau de la balance, pour que deux hommes pussent tirer la machine au moyen de ce levier.

La machine est d'abord mise en mouvement par cinq ou six hommes. Dès que l'impulsion première est donnée, les deux hommes qui tirent sur le levier la maintiennent sans peine en mouvement à la vitesse d'environ deux à trois milles, ou à peu près une lieue, par heure. Le style de la balance oscille beaucoup. Il va généralement de 130 lb. à 170 lb., donnant une moyenne de 150 lb. de traction.

La balance est enlevée ensuite du devant de la machine et attachée en arrière vers le côté de Liverpool; et la même expérience recommencée donne une moyenne de 140 lb. de traction. Le style oscille encore en général d'une vingtaine de livres en dessus et en dessous de ce point.

Moyenne des deux expériences, 145 lb.

La machine était prête à partir, et elle avait déjà fait quelques courses sur les rails pour allumer son feu et remplir sa chaudière. Ainsi, les graisses qui forment l'enduit des parties frottantes étaient fondues et les huiles bien liquides. Mais les expériences se faisant dans l'enceinte même de la station, sur un lieu de passage continuel, les rails s'y trouvent constamment couverts de cendres et de boue; et cette circonstance accroît considérablement la résistance au mouvement.

VI. Le 23 juillet au soir, la machine *Sun*, dont les proportions ont déjà été données plus haut, et

dont le poids est 7t,90, est essayée de la même manière. Elle donne 100 lb. de traction vers Manchester, et 130 lb. en reculant vers Liverpool; moyenne 115 livres. La chaudière de la machine est pleine d'eau, le foyer vide.

VII. Le même jour, *Firefly*, déjà détaillée et du poids de 8t,74, tirée au dynamomètre, exige 125 lb. dans un sens et 130 dans l'autre. Moyenne 127lb,5. La chaudière de la machine est pleine d'eau, le foyer est vide.

VIII. Le même jour, la machine *Fury*, cylindres 11 pouces, course 16 pouces, roues 5 pieds, dont une seule paire attachée au piston, poids 8t,20, demande en avançant vers Manchester 100 lb., en reculant vers Liverpool 110 lb. de traction; moyenne 105 lb.

Ces expériences eurent lieu sur les machines séparées de leur convoi. Elles furent faites dans l'enceinte de la station, à Liverpool, sur une partie qui est considérée comme exactement de niveau. On peut penser cependant que dans le lieu précis où se trouvait la machine, le terrain n'était pas tout à fait horizontal et que c'était là la cause de la légère différence de résistance observée dans un sens ou dans l'autre.

§ 4. *Frottement des machines déterminé par l'angle du frottement.*

Ces résultats ne s'éloignaient pas considérablement des précédents; mais comme dans toutes ces

expériences le style de la balance variait extrêmement, selon les petites inégalités de la route ou les saccades que donnaient les hommes qui tiraient la machine, la moyenne du tirage était fort difficile à saisir exactement. En outre, la malpropreté des rails près de la station accroissait beaucoup la résistance. Il était donc à désirer de voir ces résultats vérifiés par une méthode différente et susceptible d'une plus grande exactitude.

C'est pourquoi les mêmes machines furent soumises aux mêmes expériences qui avaient servi à déterminer le frottement des wagons.

IX. Le 30 juillet, la machine *Jupiter*, cylindres 11 pouces, course 16 pouces, roues 5 pieds, une paire de roues seulement mue par le piston, poids $7^t,90$, fut amenée sur le plan de Sutton, au même lieu où avaient été faites les expériences sur le frottement des wagons. Elle fut séparée de son convoi et abandonnée à sa gravité sur le plan incliné.

Partie du jalon n° 0, elle continue son mouvement jusqu'à 249 pieds au delà du jalon n° 18; durée de la course 7′ 12″. Cette expérience donne : distance parcourue 6189 pieds; différence de niveau des points de départ et d'arrivée $36^{pi},78$; ainsi frottement $\frac{1}{168}$ du poids ou $\frac{7^t,90}{168} = \frac{17698^{lb}}{168} = 105^{lb}$.

Ce résultat comprend la résistance directe de l'air à la vitesse de neuf à dix milles, ou quatre lieues, par heure.

X. Le 31 juillet, la machine *Atlas*, cylindres

12 pouces, course 16 pouces, roues 5 pieds, quatre roues couplées, poids $11^{t},40$, est amenée au même lieu. Faute de s'y être pris à temps, le train ne peut être arrêté précisément au point convenable; et la machine se trouve déjà à 99 pieds au-dessous du jalon n° 1. On ne peut faire rétrograder le train considérable qu'elle conduit; ainsi, le point de son départ ayant été soigneusement déterminé, la machine est abandonnée à elle-même de ce point, et court jusqu'à 273 pieds au delà du jalon n° 17.

La distance parcourue par la machine est 5454 pieds, et la différence de niveau des points de départ et d'arrivée $32^{pi},07$. Ainsi le frottement est le $\frac{1}{170}$ du poids, ou 150 lb. Cette détermination comprend la résistance directe de l'air à une vitesse moyenne de huit à neuf milles par heure.

XI. Le 1er août, la même machine *Atlas*, amenée à la pente de Sutton, et le centre de la machine soigneusement placé en face du jalon ordinaire de départ, est abandonnée à sa gravité sur le plan. Elle roule jusqu'a 45 pieds au delà du jalon n° 14.

Distance, parcourue en 5′ 40″, 4665 pieds; chute totale $35^{pi},40$; frottement $\frac{1}{132}$ du poids, ou 194 lb.

La machine a été réparée la nuit précédente. On a changé les bielles de connexion des roues qui se trouvaient trop faibles, et les bielles neuves ne sont pas encore ajustées tout à fait à la longueur convenable. La résistance qu'elles produisent, agissant sur la roue à l'extrémité d'un bras de levier de 1 pied, qui est le rayon de leur manivelle pour tourner la

roue, produit l'effet d'un frein puissant pour retarder la machine. Ce frottement d'*Atlas* n'est pas applicable par conséquent aux expériences faites avec cette machine antérieurement au 1er août.

XII. Le 1er août, la machine *Vesta*, cylindres 11po $\frac{1}{8}$ (cette machine avait originairement des cylindres de 11 pouces de diamètre; mais, en la réparant, les cylindres ont été alésés de nouveau, ce qui a augmenté leur diamètre de $\frac{1}{8}$ de pouce), course 16 pouces, roues 5 pieds, deux roues seulement attachées aux pistons, poids 8t,71, est soumise à la même épreuve. Partie du jalon no 0, elle continue son mouvement jusqu'à 33 pieds au delà du jalon no 11. Elle parcourt ainsi en 6′ environ un espace de 3663 pieds, avec une différence de niveau, du départ à l'arrivée, de 33pi,07, ce qui établit le frottement à $\frac{1}{104}$ du poids, ou 187 lb.

Cette machine vient d'être refaite et n'a encore fait, au moment de l'épreuve, que deux ou trois voyages depuis cette réparation. Les pièces n'en sont pas encore bien ajustées, ni les joints bien faciles; d'où résulte l'accroissement de résistance passive qu'on y remarque comparativement aux autres machines.

XIII. Le 2 août, *Fury*, cylindres 11 pouces, course 16 pouces, roues 5 pieds, non couplées, poids 8t,20, partie du point de départ ordinaire, s'est arrêtée 48 pieds au delà du jalon no 18; parcourant en 7′ un espace de 5988 pieds, avec une différence de niveau du départ à l'arrivée de 36pi,68; ce qui

met le frottement à $\frac{1}{163}$ du poids, ou 113 livres.

XIV. Le 2 août, *Vulcan*, cylindres 11 pouces, course 16 pouces, roues 5 pieds, non couplées, poids $8^t,34$, abandonnée à sa gravité à partir d'un point situé 27 pieds au-dessus du point de départ ordinaire, a parcouru en 6′ 30″ un espace de 5391 pieds, sur une différence de niveau de $36^{pi},52$; ce qui porte le frottement à $\frac{1}{146}$ du poids, ou 127 livres.

XV. Le 4 août, *Leeds*, machine de mêmes proportions que *Fury* et *Vulcan*, poids $7^t,07$, a parcouru en 6′ 30″ un espace de 5472 pieds sur une pente de $36^{pi},32$. Ainsi, le frottement de la machine est $\frac{1}{160}$ de son poids, ou 105 lb. (On entend crier fortement un des pistons de la machine qui a besoin d'être graissé.)

XVI. Le 15 août, la même machine *Leeds*, partie du même point, a parcouru 5061 pieds en 6′ sur une pente de $35^{pi},86$; ce qui met le frottement de cette machine à $\frac{1}{141}$, ou 112 lb. (On entend, comme dans l'expérience précédente, crier un des pistons.)

Tous ces résultats comprennent la résistance directe de l'air contre la machine, à une vitesse moyenne de dix à douze milles, c'est-à-dire seize à dix-neuf kilomètres par heure.

§ 5. *Tableau des résultats des expériences précédentes sur le frottement des machines.*

En rapprochant toutes ces expériences les unes des autres, on forme le tableau suivant.

Expériences sur le frottement

NUMÉRO de l'expérience.	DATE de l'expérience.	NOM de la machine.	DIAMÈTRE du cylindre.	COURSE du piston.	DIAMÈTRE de la roue.	POIDS de la machine.
	1834		pouces.	pouces.	pieds.	tonnes.
I . . .	5 juillet.	ATLAS. .	12	16	5	11,40
X . . .	31 juillet.	*id* . .	*id.*	*id.*	*id.*	*id.*
XI. . .	1er août.	*id* . .	*id.*	*id.*	*id.*	*id.*
II . . .	21 juillet.	SUN. . .	11	16	5	7,91
III. . .	23 juillet.	*id* . .	*id.*	*id.*	*id.*	*id.*
VI . .	*id.* . .	*id* . .	*id.*	*id.*	*id.*	*id.*
IV. . .	*id.* . .	FIREFLY.	11	18	5	8,74
VII . .	*id.* . .	*id* . .	*id.*	*id.*	*id.*	*id.*
V . . .	22 juillet.	VULCAN.	11	16	5	8,34
XIV. .	2 août .	*id* . .	*id.*	*id.*	*id.*	*id.*
VIII. .	23 juillet.	FURY . .	11	16	5	8,20
XIII. .	2 août .	*id* . .	*id.*	*id.*	*id.*	*id.*
XV . .	4 août .	LEEDS. .	11	16	5	7,07
XVI. .	15 août .	*id* . .	*id.*	*id.*	*id.*	*id.*
IX. . .	30 juillet.	JUPITER.	11	16	5	7,90
XII . .	1er août.	VESTA. .	11⅛	16	5	8,71

des machines locomotives.

MODE de détermination.	Frottement résultant de l'expérience.	Frottement de la machine.	OBSERVATIONS.
	livres.	livres.	
par la moindre pression.	154	152	Cette machine a six roues, dont quatre mues par le piston.
par l'angle du frottement.	150		
par l'angle du frottement.	194	194	La machine est gênée par les bielles de connexion de ses roues.
par la moindre pression.	125	114	
par la moindre pression.	101		
par le dynamomètre. . .	115		
par la moindre pression.	111	119	
par le dynamomètre. . .	127		
par le dynamomètre. . .	145	136	
par l'angle du frottement.	127		
par le dynamomètre. . .	105	109	
par l'angle du frottement.	113		
par l'angle du frottement.	105	108	
par l'angle du frottement.	112		
par l'angle du frottement.	105	105	
par l'angle du frottement.	187	187	La machine est encore un peu roide; elle sort de l'atelier de réparation.

MÊME TABLEAU

Expériences sur le frottement

NUMÉRO de l'expérience.	DATE de l'expérience.	NOM de la machine.	DIAMÈTRE du cylindre.	COURSE du piston.	DIAMÈTRE de la roue.	POIDS de la machine.
	1834		centimèt.	centimèt.	mètres.	tonneaux.
I . . .	5 juillet.	ATLAS. .	30,5	40,6	1525	11,58
X . . .	31 juillet.	*id* . .	*id.*	*id.*	*id.*	*id.*
XI. . .	1er août.	*id* . .	*id.*	*id.*	*id.*	*id.*
II . . .	21 juillet.	SUN. . .	27,9	40,6	1525	8,03
III. . .	23 juillet.	*id* . .	*id.*	*id.*	*id.*	*id.*
VI. . .	*id.* . .	*id* . .	*id.*	*id.*	*id.*	*id.*
IV. . .	*id.* . .	FIREFLY.	27,9	45,7	1525	8,88
VII . .	*id.* . .	*id* . .	*id.*	*id.*	*id.*	*id.*
V . . .	22 juillet.	VULCAN.	27,9	40,6	1525	8,47
XIV. .	2 août .	*id* . .	*id.*	*id.*	*id.*	*id.*
VIII. .	23 juillet.	FURY . .	27,9	40,6	1525	8,33
XIII. .	2 août .	*id* . .	*id.*	*id.*	*id.*	*id.*
XV . .	4 août .	LEEDS. .	27,9	40,6	1525	7,18
XVI. .	15 août .	*id* . .	*id.*	*id.*	*id.*	*id.*
IX. . .	30 juillet.	JUPITER.	27,9	40,6	1525	8,02
XII . .	1er août.	VESTA. .	28,3	40,6	1525	8,85

EN MESURES FRANÇAISES.

des machines locomotives.

MODE de détermination.	Frottement résultant de l'expérience.	Frottement de la machine.	OBSERVATIONS.
	kilogram.	kilogram.	
par la moindre pression.	69	68	Cette machine a six roues, dont quatre mues par le piston.
par l'angle du frottement.	68		
par l'angle du frottement.	87	87	La machine est gênée par les bielles de connexion de ses roues.
par la moindre pression.	56	51	
par la moindre pression.	45		
par le dynamomètre . . .	52		
par la moindre pression.	50	54	
par le dynamomètre . . .	57		
par le dynamomètre . . .	65	61	
par l'angle du frottement.	57		
par le dynamomètre . . .	47	49	
par l'angle du frottement.	51		
par l'angle du frottement.	47	49	
par l'angle du frottement.	50		
par l'angle du frottement.	47	47	
par l'angle du frottement.	84	84	La machine est encore un peu roide; elle sort de l'atelier de réparation.

En considérant ces résultats, on voit que, laissant à part la machine *Vesta*, qui se trouvait dans une circonstance particulière, les machines locomotives à roues non couplées n'ont qu'une résistance passive moyenne de 115 livres ou 52 kilogrammes. Et la machine *Atlas*, à roues couplées et d'un poids considérable, n'a que 152 lb. ou 68 kilogrammes de frottement, quand elle n'est pas gênée par les bielles de connexion de ses roues.

On a déjà fait observer que les expériences au dynamomètre et à la moindre pression ont été faites sur un emplacement où les rails offrent bien plus de résistance que le long de la ligne. De même, les expériences sur l'angle du frottement ont eu lieu en un point du railway où il y a neuf pièces de croisement à traverser. Ces obstacles arrêtaient surtout les machines, parce qu'ils se rencontraient à un endroit où la vélocité de la course était déjà beaucoup diminuée. On peut donc pour les machines bien faites, bien entretenues et du modèle de Liverpool, calculer sur le résultat que nous avons obtenu, sans craindre de mettre la résistance passive trop bas.

Dans chacune des expériences que nous aurons à faire avec les machines, nous prendrons, non pas le résultat moyen, mais le frottement individuel de chacune, tel qu'il vient d'être déterminé.

ARTICLE II.

DU FROTTEMENT ADDITIONNEL DES MACHINES LOCOMOTIVES EN RAISON DE LA CHARGE QU'ELLES TIRENT.

§ 1. *Du mode de détermination.*

Nous venons de déterminer le frottement ou la résistance passive des machines locomotives, quand elles ne tirent aucun fardeau. Nous avons déjà fait voir néanmoins que ce frottement doit s'accroître à mesure que la machine tire un poids plus considérable. Le but de nos recherches sera donc maintenant d'arriver à connaître la valeur de ce frottement pour diverses charges, afin d'en déduire le surcroît de résistance créé dans la machine par chaque tonne de cette charge.

Lorsqu'une machine exécute la traction d'un train, on connaît la pression dans la chaudière d'après l'inspection de la balance de la soupape. Mais on ne connaît pas la pression de cette vapeur dans le cylindre, parce qu'en passant de la chaudière dans le cylindre, cette vapeur change de force élastique, comme on le verra plus loin. Si l'on pouvait connaître *à priori* la pression dans le cylindre, si par exemple il était possible d'y appliquer un manomètre, alors on en déduirait immédiatement quel est le frottement de la machine correspondant à cette charge.

En effet, puisque par hypothèse on connaît la pression dans le cylindre ou sur le piston, en calculant l'effet total de cette pression sur l'aire du piston, on a l'évaluation exacte de la puissance appliquée par la machine.

D'autre part, on connaît aussi la résistance opposée au mouvement, car elle se compose de la résistance du train et de celle de la machine.

En outre, si la machine en tirant cette charge accroissait constamment sa vitesse, il est clair qu'il y aurait excès de la puissance sur la résistance; si au contraire la vitesse baissait graduellement, la puissance serait inférieure à la résistance; mais si l'on prend la machine dans un moment où elle a acquis une certaine vitesse uniforme, et que cette vitesse se conserve sans altération, il faut nécessairement que le pouvoir qu'applique alors la machine soit précisément égal à la résistance qu'elle éprouve; car sans cela il y aurait accélération ou retardation de mouvement.

Ainsi nous connaissons le pouvoir appliqué par la machine; nous connaissons la résistance au mouvement, qui n'est autre que la somme de la résistance du train et de celle de la machine; et enfin cette somme des deux résistances est égale au pouvoir appliqué; donc la résistance de la machine est égale au pouvoir appliqué, moins la résistance du train.

Ce mode donnerait donc immédiatement le frottement de la machine, si l'on connaissait la pression dans le cylindre.

Mais il y a des cas où cette pression dans le cylindre est effectivement connue *à priori*, et n'est autre que la pression même dans la chaudière. Ces cas sont ceux où la machine atteint la limite de son pouvoir avec la pression à laquelle elle travaille, c'est-à-dire lorsqu'elle tire la plus grande charge qu'elle peut tirer avec cette pression.

En effet, puisque par hypothèse la machine est arrivée à la limite de sa force, la pression dans le cylindre ne peut être moindre que dans la chaudière; car si elle l'était, en diminuant la vitesse, qui est le seul obstacle à ce que l'équilibre de pression s'établisse entre les deux vases, on pourrait donner à la vapeur le temps de s'élever dans le cylindre jusqu'à égaler la pression dans la chaudière, et alors l'effet serait augmenté. C'est-à-dire que la machine pourrait tirer une charge plus grande, pourvu qu'elle diminuât sa vitesse. Au contraire, dès que la pression dans le cylindre est devenue égale à celle de la chaudière, il n'y a plus de diminution de vitesse qui puisse permettre d'accroître la charge; car cet accroissement de charge nécessite un accroissement de force motrice, et la chose n'est plus possible.

Ainsi, dans le cas où l'on a atteint le *maximum* de charge de la machine, on connaît *à priori* le pouvoir appliqué, et l'on peut, comme nous l'avons fait plus haut, en déduire le frottement correspondant de la machine.

Supposons donc que, dans une expérience, on

soit arrivé à cette limitée de force de la machine. Soit d le diamètre du piston et π le rapport de la circonférence au diamètre, $\frac{1}{4}\pi d^2$ sera l'aire du piston, et $\frac{1}{2}\pi d^2$ l'aire des deux pistons ensemble. Soit encore p la pression effective par unité de surface de la vapeur dans la chaudière, telle qu'elle a été observée durant l'expérience; il est clair, d'après ce qui a été dit plus haut, que $\frac{1}{2}\pi d^2 p$ est la force qui était alors appliquée sur le piston.

En appelant D le diamètre de la roue, et l la longueur de la course, cette force appliquée sur le piston était, en se transmettant à la machine, réduite dans le rapport des vitesses respectives, ou dans le rapport $\frac{2l}{\pi D}$. Ainsi, après sa transmission à la machine, elle avait pour expression :

$$\frac{1}{2}\pi d^2 p \times \frac{2l}{\pi D} = \frac{pd^2 l}{D}.$$

C'était l'expression de la force de traction appliquée à la progression de la machine.

D'autre part, M étant le poids de la charge, exprimé en tonnes ou en tonneaux, et n représentant la résistance par tonne de la charge, telle que nous l'avons déterminée dans le chapitre précédent, nM était la résistance du train. Enfin, si l'on représente par X la résistance propre ou le frottement qu'avait alors la machine,

$$n\mathrm{M} + \mathrm{X}$$

était la résistance totale opposée au mouvement de la machine.

Comme nous avons vu que, le mouvement étant uniforme, la puissance appliquée par la machine était égale à la résistance, on avait

$$\frac{pd^2l}{D} = nM + X,$$

et enfin,

$$X = \frac{pd^2l}{D} - nM.$$

Cette équation nous donne la valeur du frottement cherché de la machine.

Si nous voulons employer cette expression avec les mesures anglaises, p est la pression effective en livres par pouce carré dans la chaudière, et ainsi d le diamètre du piston doit être exprimé en pouces. l, longueur de la course, et D, diamètre de la roue, sont exprimés tous deux soit en pouces soit en pieds; ce qui est indifférent, l'équation ne contenant que leur rapport. Le nombre n, qui est la résistance par tonne, est 8 lb., et alors la valeur trouvée de X sera de même exprimée en livres.

Si l'on se sert de mesures françaises, p sera la pression effective en kilogrammes par centimètre carré dans la chaudière, et d sera exprimé par conséquent en centimètres. Le rapport $\frac{l}{D}$ se trouvera en exprimant l et D en mesures pareilles; M sera le poids en tonneaux, et n sera en kilo-

grammes $3^{kg},64$. Enfin la résistance passive X sera alors exprimée de même en kilogrammes.

Ici, comme dans les expériences ci-dessus faites avec les machines sans charge, nous faisons, dans l'évaluation de la résistance, abstraction de la pression atmosphérique; parce que, de même que dans celle de la puissance, au lieu de compter la pression *totale* de la vapeur, nous ne comptons que son excès sur celle de l'atmosphère. Cela revient à supprimer de chaque côté deux forces égales qui se font équilibre. N'ayant encore ici à comparer la puissance et la résistance que dans un cas d'égalité, la soustraction d'une même quantité peut se faire de part et d'autre sans altérer le résultat.

La formule que nous venons d'obtenir est très-simple, et le principe qu'elle représente nous donnera facilement la résistance passive de la machine, dans tous les cas où celle-ci sera parvenue à la limite de son pouvoir. Il ne s'agit plus que d'arriver à ce point.

En conséquence, des expériences eurent lieu dans ce but, tantot en prenant des charges aussi considérables que la machine pouvait en tirer, tantôt en se bornant à une charge médiocre, mais baissant la pression au moyen de la soupape de sûreté aussi bas que possible sans arrêter le train.

Les expériences dont il s'agit furent faites sur trois pentes du railway de Liverpool à Manchester, savoir: sur le plan incliné de *Sutton*, incliné à $\frac{1}{89}$, sur celui de *Whiston*, incliné à $\frac{1}{96}$, et sur la montée

de *Chatmoss*, à $\frac{1}{1300}$ (1). En estimant les résistances sur ces plans, il est clair que la gravité de la masse, décomposée le long du plan, forme une résistance additionnelle au frottement propre des voitures; de sorte que la résistance du train, non compris la résistance passive de la machine, se compose alors du frottement des wagons, à raison de 8 lb. par tonne, et en outre de la gravité de la masse totale en mouvement sur le plan. Ainsi, un train de 40 tonnes, tiré par une machine du poids de 10 tonnes, offre sur le plan de Sutton la résistance suivante :

$40 \times 8^{lb} = 320^{lb}$	frottement des voitures à 8^{lb} par tonne.	320
$\frac{40 \times 2240^{lb}}{89} = 1006^{lb}$	gravité des 40^{t} (réduites en livres) sur un plan incliné à $\frac{1}{89}$.	1006
$\frac{10 \times 2240^{lb}}{89} = 251^{lb},6$	gravité pareille de la machine.	252
	Résistance totale, non compris le frottement propre de la machine . .	1578

Et comme on sait que sur niveau une tonne n'exige que 8 lb. de traction, on voit que le train montant le plan, dans cette circonstance, équivaut au tirage sur niveau de

(1) *Voyez* la section du railway de Liverpool, chap. V, art. V, § 6.

$$\frac{1578}{8} = 197\,\frac{1}{4} \text{ tonnes.}$$

C'est de cette manière que le calcul sera fait dans les expériences suivantes.

Nous faisons ces expériences nombreuses, parce que, devant appliquer aux wagons leur résistance moyenne par tonne, le calcul aura d'autant plus de justesse qu'il embrassera un nombre plus grand de voitures.

§ 2. *Expériences sur le frottement additionnel des machines.*

I. Le 22 juillet 1834, la machine *Vulcan*, cylindres 11 pouces, course 16 pouces, roues 5 pieds, poids $8^t,34$, monte *Sutton* avec un train de première classe de neuf voitures, dont la malle-poste et deux traîneaux vides : poids du train, convoi compris, $39^t,07$.

La vitesse en milles, de $26^{mil},6$ avant l'arrivée au plan, se met au taux de 20 milles par heure pour la première moitié de la montée, prend une moyenne de $11^{mil},42$, et se réduit à $7^{mil},5$ sur le dernier quart de mille de la pente, qui est un peu plus roide que le reste.

La balance de la machine, fixée à 31 comme point de départ, marque 36; ce qui correspond, d'après le manomètre, à $57^{lb},5$ de pression effective par pouce carré.

D'après les proportions de cette machine, on a :

190 aire des deux cylindres en pouces carrés, multiplié par
57,^{lb}5 pression de la vapeur par pouce carré dans la chaudière ou sur le piston, fait
10925^{lb} force appliquée sur le piston; laquelle transmise comme force de traction à la machine dont la vitesse est 5,887 fois plus grande, donne

$\frac{10925^{lb}}{5,887} = 1856^{lb}$ pouvoir appliqué à faire avancer la machine.

D'autre part la résistance était

39,07 × 8^{lb} = 313^{lb} résistance due au frottement des voitures.

$\frac{47,41 \times 2240^{lb}}{89} = 1193^{lb}$ résistance due à la gravité de la masse totale, train et machine.

1506^{lb} résistance totale.

Ainsi:

1856^{lb} pouvoir appliqué.
—1506 résistance, équivalente à celle de 188^{t} $\frac{3}{4}$ sur niveau.
350 frottement correspondant de la machine.

La vitesse moyenne de la montée a été en milles de 11^{mil},42 par heure; la vitesse au sommet du plan de 7^{mil},5 par heure.

Dans toutes ces expériences nous donnons séparément ces deux vitesses, parce que, la machine ayant une grande impulsion en arrivant au plan, nous désirons, autant que possible, dégager cette vitesse acquise de celle propre au mouvement. Si l'on prenait 11^{mil},42 comme la vitesse du mouvement, elle serait un peu trop grande, étant compliquée de l'impulsion première. D'autre part, en prenant 7^{mil},5, on tomberait dans le défaut contraire,

parce que le dernier quart de mille de la montée est plus roide que le reste et dépasse l'inclinaison de $\frac{1}{80}$, sur laquelle nous calculons ici.

On appelle trains de première classe, ceux qui transportent des voyageurs, et qui font le trajet entre Liverpool et Manchester sans s'arrêter. Les voitures de ces trains ne sont jamais pesées. On les a portées ici à leur moyenne de 4',73 chargées, et une malle-poste à 3',44. Le convoi d'approvisionnement est compté à 5 tonnes, ou à 5',50, selon la quantité d'eau et de coke qu'il contient au moment de l'expérience. Le poids des wagons, vides ou chargés, est pris *exactement* en tonnes, quintaux, quarts de quintaux et livres; nous l'exprimons ici, pour plus de simplicité, en tonnes et décimales de tonnes.

II. Le 22 juillet 1834, la même machine *Vulcan* monte *Whiston* avec un train de première classe de neuf voitures, dont la malle-poste et deux traîneaux chargés: poids du train, convoi compris, 41',32. La vitesse se maintient uniformément durant la montée à 18^{mil},75 par heure, se réduisant à 12 milles par heure sur le dernier quart de mille. La balance, fixée à 31, marque 36; ou pression effective au manomètre, 57^{lb},5 par pouce carré dans la chaudière.

Cette expérience donne:

1856^{lb} pouvoir.
1489 résistance, équivalente à 186 tonnes sur niveau.
367 frottement correspondant de la machine.

III. Le 23 juillet 1834, *Atlas*, cylindres 12 pouces, course 16 pouces, roues 5 pieds, poids 11t,40, balance fixée à 50 lb., comme point de départ, part de Liverpool avec un train de quarante wagons, pesant exactement 190t, et avec le convoi 195t,5.

Pour le moment du départ, il faut l'aide de deux autres machines. Sur le plan incliné de *Whiston* le train est aidé par quatre machines, savoir, en avant du train *Ajax* et *Expériment*, et en arrière *Sun* et *Goliath*. Ainsi, tiré par cinq locomotives, le train monte le plan sans un instant de délai, et parvenu au sommet de la pente, la machine *Atlas* en reprend seule la conduite.

Arrivé à la pente de *Chatmoss*, la machine la monte seule sur une longueur de 5 $\frac{1}{2}$ milles, suivie de tout son train. Sa vitesse se réduit toutefois considérablement. Les six premiers quarts de mille sont traversés avec une vitesse uniforme de 15^{mil} par heure : pression 51 à la balance, ou 54 lb. au manomètre. Pendant les quatre quarts de mille suivants, la vitesse est de 10 milles par heure, même pression. Ici commence un surcroît de pente sur une longueur de $\frac{1}{2}$ mille. En ce point la vitesse décroît rapidement. Pendant le premier quart de mille, elle tombe de 10 à 6 milles par heure; pendant le second, elle tombe à 3 $\frac{1}{2}$ milles, et va en diminuant jusqu'au dernier instant du passage. A mesure que la vitesse se réduit, la pression s'élève à 51^{lb} $\frac{1}{2}$, puis à 52 à la balance, où elle se maintient : pression correspondante à 55 lb.

au manomètre. Après le passage de l'obstacle, la vitesse revient à 4 $\frac{1}{2}$ milles, puis à 7 $\frac{1}{2}$ milles par heure, et reprend pour le reste de la montée sa vitesse régulière de 15 milles par heure. La pression redescend en même temps à 51 à la balance, ou 54 lb. au manomètre.

Au passage d'une seconde irrégularité pareille, de courte durée, près le pont qui existe sur le canal de Bridgewater, les mêmes effets se produisent. La vitesse se réduit encore à 3 $\frac{1}{2}$ milles, et la pression s'élève de nouveau à 52 à la balance.

L'irrégularité de Chatmoss est un plan incliné à 8 pieds par mille ou $\frac{1}{660}$, et les autres parties du marais le sont beaucoup moins, donnant pour le tout ensemble une inclinaison générale de $\frac{1}{1300}$; mais le passage difficile n'a qu'un demi-mille de longueur. Comme une masse de 200 tonnes, qui arrive avec une vitesse de 15 milles ou 6 lieues par heure, a une quantité de mouvement considérable, un obstacle d'une inclinaison modérée, et durant $\frac{1}{2}$ mille seulement, ne peut anéantir entièrement l'impulsion première. La machine n'ayant pu, pendant son passage sur l'obstacle, acquérir une vitesse uniforme, mais perdant au contraire de la vitesse jusqu'au dernier instant, montrait que c'était trop pour elle; mais le fait, constaté sur une longueur de 5 $\frac{1}{2}$ milles, prouve que l'inclinaison moyenne de la montée, ou $\frac{1}{1300}$, était dans les limites de sa force avec une pression de 55 lb. par pouce carré.

Cette expérience ayant suscité quelques doutes sur les vraies proportions de l'*Atlas*, elles furent mesurées par nous-mêmes quelques jours après, le 8 août 1834, lorsque la machine était en réparation, et trouvées parfaitement exactes. Le diamètre du cylindre est 12 pouces; course, mesurée sur la manivelle de l'essieu alors séparée de la machine, 16 pouces; roues 5 pieds à la partie qui porte sur le rail, ayant $\frac{3}{8}$ de pouce de plus, près du mentonnet, et $\frac{3}{8}$ de moins à la partie biseautée.

Cette expérience, *prise sur l'obstacle de Chatmoss*, donne:

2111^{lb}	pouvoir de la machine.
2266	résistance opposée par la charge sur la pente accidentelle à $\frac{1}{600}$.
155	force en moins.

La résistance excédait le pouvoir. Ainsi, effectivement il devait être impossible à la machine de se fixer à aucune vitesse uniforme durant son passage sur l'obstacle. Elle devait constamment perdre de la vitesse, et se serait arrêtée si l'obstacle eût duré plus longtemps.

Mais prise sur la pente générale à $\frac{1}{1300}$, on a:

2111^{lb}	pouvoir.
1921	résistance du train, équivalente à 240^{t} sur niveau.
190	frottement correspondant de la machine.

La vitesse moyenne de l'expérience a été de 8 milles par heure; la vitesse *minimum* de 3 $\frac{1}{2}$ milles par heure.

IV. La même machine, le même jour, parcourant avec le même train le plateau de Rainhill, qui est parfaitement de niveau, y prend une vitesse uniforme de 9^{mil},23 par heure : balance fixée à 50 et marquant 50,5 ; ou pression effective 53^{lb},5 au manomètre.

2054^{lb} pouvoir.
1564 résistance du train, équivalente à 195^{t} $\frac{1}{4}$ sur niveau.
490 frottement correspondant de la machine.

V. Le 23 juillet 1834, la même machine *Atlas* monte *Sutton* avec une portion de son train, consistant en huit wagons du poids de 33^{t},90 outre le convoi, et 39^{t},40 avec le convoi : balance fixée à 50 et marquant 52 ; ou pression effective 55 lb. ; vitesse 6 milles par heure.

2111^{lb} pouvoir.
1594 résistance, équivalente à 199^{t} $\frac{1}{4}$ sur niveau.
517 frottement correspondant de la machine.

VI. Le 24 juillet 1834, la machine *Fury*, cylindres 11 pouces, course 16 pouces, roues 5 pieds, poids 8^{t},20, monte *Whiston* avec un train de dix wagons, pesant ensemble 51^{t},16, et 56^{t},16 avec le convoi : balance fixée à 32 et marquant 35 ; ou pression effective au manomètre 65 $\frac{1}{2}$ livres par pouce carré dans la chaudière. Vitesse moyenne de la montée 6^{mil},31 par heure, réduite à 3^{mil},33

pour le sommet du plan.

2114 lb	pouvoir.
1951	résistance, équivalente à 244 tonnes sur niveau.
163	frottement correspondant de la machine.

VII. Le 24 juillet 1834, la même machine *Fury* monte *Sutton* avec un train de dix wagons, pesant 43t,80, et convoi compris 48t,80: balance fixée à 32 et marquant 36; ou pression effective 67 lb.; vitesse 15 milles par heure. La machine tire son train avec une évidente facilité.

2162 lb	pouvoir.
1825	résistance, équivalente à 228t sur niveau.
337	frottement correspondant de la machine.

VIII. Le 31 juillet 1834, *Atlas*, dont on a déjà donné les proportions, ne peut monter *Whiston* avec une charge de quatorze wagons pesant 61t,65, et convoi compris 67t,15, quoique la balance ait été portée à dessein à 57, comme point de départ, et marquât 60; ou pression effective 63 lb. par pouce carré dans la chaudière.

2419 lb	pouvoir.
2370	résistance, équivalente à 296t ¼ sur niveau.
49	excès du pouvoir sur la résistance, insuffisant pour surmonter le frottement de la machine.

IX. Le 31 juillet 1834, la même machine *Atlas* ne peut monter *Sutton* avec un train de huit wagons

chargés et quatre vides, pesant 35t,15, et convoi compris 40t,15 : la balance ayant été à dessein baissée à 40, comme point de départ, et marquant 42 $\frac{1}{2}$; ou pression effective, d'après le manomètre, 46 lb. par pouce carré. La vitesse, de 20 milles à l'heure qu'elle était avant d'arriver au plan, tombe aussitôt à 7 $\frac{1}{2}$ milles dans le premier quart de mille; dans le suivant, elle tombe à 4 $\frac{1}{4}$ milles; dans le troisième, à 2 $\frac{1}{4}$ milles; enfin la machine s'arrête.

1766lb	pouvoir.
1619	résistance, équivalente à 202t $\frac{1}{2}$ sur niveau.
147	excès du pouvoir sur la résistance, insuffisant, comme on voit, pour surmonter le frottement de la machine. On a vu que le frottement de cette machine, même sans charge, est de 152lb.

X. A la suite de l'expérience précédente, et au moment même où la machine s'arrête, on élève la balance à 45, marquant 47 $\frac{1}{2}$; ou pression effective dans la chaudière 51 lb., d'après le manomètre. Avec cette pression, la machine regagne insensiblement de la vitesse et parvient à une vitesse uniforme de 7 $\frac{1}{2}$ milles par heure, avec laquelle elle termine la montée.

1958lb	pouvoir.
1619	résistance, équivalente à 202t $\frac{1}{2}$ sur niveau.
339	frottement correspondant de la machine.

XI. Le 1er août 1834, *Vesta*, cylindres

11 pouces $\frac{1}{8}$ (cette machine avait originairement des cylindres de 11 pouces, mais en les réalésant, ils sont venus à $11^{po}\frac{1}{8}$), course 16 pouces, roues 5 pieds, poids 8t,71, avec un train de dix wagons, pesant 43t,72, et convoi compris 49t,22, monte *Whiston* jusqu'à une très-petite distance du sommet, savoir, 60 yards ou $\frac{1}{30}$ de mille. En ce point la machine va s'arrêter, plusieurs hommes sont obligés de pousser fortement aux roues pour lui faire achever lentement la montée. Balance fixée à 20 $\frac{1}{2}$ et marquant 23 $\frac{1}{2}$; ou pression effective, d'après le manomètre, 58 lb. par pouce carré. La vitesse, de 20 milles par heure pour les quatre premiers quarts de mille de la montée, se réduit à 10 milles pour le cinquième et 6 milles pour le suivant; après quoi la vitesse tombe tout à fait, en arrivant au surcroît de pente qui existe à la crête du plan incliné. Ce surcroît de pente doit cependant être surmonté pour qu'on puisse dire que la machine a gravi le plan, parce que l'inclinaisou moyenne du plan, portée à $\frac{1}{96}$ comme on l'a vu, comprend également la crête; et que si l'on voulait la séparer, il faudrait alors compter le reste du plan à une moindre inclinaison que $\frac{1}{96}$. Ainsi, la charge était trop pour la machine avec cette pression.

1915lb pouvoir.
1749 résistance, équivalente à 218t $\frac{1}{8}$ sur niveau.
166 excès du pouvoir sur la résistance, insuffisant pour

surmonter le frottement de la machine. On a vu que le frottement de cette machine, même sans aucune charge, s'élève à 187^{lb}.

XII. Le 4 août 1834, *Atlas*, dont on a donné les proportions, avec un train de neuf wagons chargés et sept vides, pesant ensemble 38',76, et avec le convoi 44',26, ne peut monter *Sutton*, la balance étant fixée à 55 et marquant 57 $\frac{1}{2}$; ou pression effective 60 livres $\frac{1}{2}$ par pouce carré dans la chaudière. Cette pression ne suffit pas, la machine va s'arrêter.

2323^{lb}	pouvoir.
1755	résistance, équivalente à 219' $\frac{1}{3}$ sur niveau.
568	excès du pouvoir sur la résistance, insuffisant pour surmonter le frottement de la machine.

Cette expérience et celle qu'on va lire, resserrent le frottement de la machine dans de fort étroites limites, savoir, entre 568 lb. et 616 lb., et semblent faire monter ce frottement très-haut. Mais, en se reportant à l'expérience n° XI, sur le frottement des machines sans charge, on verra que, lors de ces expériences, la machine venait d'être réparée et n'était pas encore convenablement ajustée; d'où résultait que sa résistance passive sans charge était de 194 lb., au lieu d'être de 152 lb., comme elle l'avait été avant la réparation mentionnée.

XIII. A la suite de l'expérience précédente, la machine étant au moment de s'arrêter, on élève

la pression, au moyen de la balance, jusqu'à être 58 $\frac{3}{4}$ sur cette balance, ou 61 livres $\frac{3}{4}$ de pression effective par pouce carré dans la chaudière, d'après le manomètre. Avec cette pression la montée s'achève à la vitesse de 3^{mil},75 par heure pour la crête du plan.

2371^{lb}	pouvoir.
1755	résistance, équivalente à 219^{t} $\frac{1}{3}$ sur niveau.
616	frottement correspondant de la machine.

XIV. Le 4 août 1834, la machine *Fury*, cylindres 11 pouces, course 16 pouces, roues 5 pieds, poids 8^{t},20, monte *Sutton* avec un train de première classe, de huit voitures, dont un traîneau vide; poids du train, 32^{t},97, et avec le convoi 37^{t},97 : pression réduite à dessein à 33 à la balance, ou 55 lb. au manomètre. Vitesse moyenne 13^{mil},33; vitesse *minimum* 10 milles par heure au sommet du plan.

1775^{lb}	pouvoir.
1466	résistance, équivalente à 183^{t} $\frac{1}{4}$ sur niveau.
309	frottement correspondant de la machine.

XV. Le 15 août, la machine *Leeds*, cylindres 11 pouces, course 16 pouces, roues 5 pieds, poids 7^{t},07, monte *Sutton* avec sept wagons, pesant 29^{t},65, et convoi compris 35^{t},15. La pression, réduite à dessein, était 29 à la balance, ou 48^{lb},5 au manomètre. La vitesse, de 15 milles par heure

pour le premier mille de la montée, baisse à 10 milles pour le quart suivant, et à $6^{mil},6$ pour le dernier quart de mille près du sommet; vitesse moyenne 10 milles.

1565^{lb}	pouvoir.
1344	résistance, équivalente à 168_t sur niveau.
221	frottement correspondant de la machine.

XVI. Le 16 août, matin, 1834, la machine *Vesta*, dont on a déjà donné les proportions, monte *Sutton* avec un train de sept wagons chargés, pesant ensemble $34^t,43$, et convoi compris $39^t,93$; soupape fixée à 20, comme point de départ à la balance, et soufflant à $23\frac{1}{4}$; ou pression effective, par pouce carré au manomètre, $57^{lb},25$. Vitesse à la crête du plan $2^{mil},50$. (La machine était partie sur le plan sans impulsion ou vitesse acquise.)

1891^{lb}	pouvoir.
1343	résistance, équivalente à 193^t sur niveau.
548	frottement correspondant de la machine.

XVII. Le 16 août, matin, 1834, la même machine monte *Sutton* avec huit wagons, pesant $31^t,95$, et convoi compris $37^t,45$: balance fixée à 20, comme point de départ, et marquant $23\frac{1}{2}$; ou pression effective 58 lb. par pouce carré dans la chaudière, d'après le manomètre. Vitesse *minimum*, au

moment d'atteindre le sommet du plan, 3^{mil},25.

1915^{lb}	pouvoir.
1462	résistance, équivalente à 182^{t} $\frac{3}{4}$ sur niveau.
453	frottement correspondant de la machine.

XVIII. Le 16 août, au soir, la même machine *Vesta* monte *Sutton* avec huit wagons chargés, pesant 27^{t},05, et quatre vides pesant ensemble 7^{t}, plus le convoi, fait en tout 39^{t},05. Balance fixée à 20 et marquant 23; ou pression effective par pouce, 56^{lb},5 au manomètre. Vitesse au point le plus difficile de la montée, 17 coups de piston complets par minute, ou 3 milles par heure.

1866^{lb}	pouvoir.
1514	résistance, équivalente à 189^{t} sur niveau.
352	frottement correspondant de la machine.

§ 3. *Tableau des résultats obtenus sur le frottement additionnel des machines.*

En réunissant celles de ces expériences qui ont donné des résultats, on forme le tableau suivant. Nous n'y avons admis que les expériences dont la vitesse était peu considérable. Il est clair, en effet, que plus la vitesse était réduite, plus la machine était près d'atteindre le but qu'on se proposait : savoir, d'arriver à la charge *maximum* qu'il lui était possible de tirer avec sa pression.

Expériences sur le frottement des

NUMÉRO de l'expérience.	DATE.	NOM de la machine.	DIAMÈTRE du cylindre.	COURSE du piston.	DIAMÈTRE de la roue.	POIDS.
	1834.		pouces.	pouces.	pieds.	tonnes.
I . . .	22 juillet.	VULCAN . .	11	16	5	8,34
II . . .	*id* . .	*id*. . .	*id*.	*id*.	*id*.	*id*.
VI. . .	24 juillet.	FURY . . .	11	16	5	8,20
XIV . .	4 août. .	*id*. . .	*id*.	*id*.	*id*.	*id*.
XV . .	15 août. .	LEEDS. . .	11	16	5	7,07
XVI. .	16 août. .	VESTA. . .	11 $\frac{1}{8}$	16	5	8,71
XVII .	*id* . .	*id*. . .	*id*.	*id*.	*id*.	*id*.
XVIII .	*id* . .	*id*. . .	*id*.	*id*.	*id*.	*id*.
III. . .	23 juillet.	ATLAS. . .	12	16	5	11,40
IV. . .	*id* . .	*id*. . .	*id*.	*id*.	*id*.	*id*.
V . . .	*id* . .	*id*. . .	*id*.	*id*.	*id*.	*id*.
X . . .	31 juillet.	*id*. . .	*id*.	*id*.	*id*.	*id*.
XIII. .	4 août. .	*id*. . .	*id*.	*id*.	*id*.	*id*.
		Moyennes				

Digitized by Google

machines locomotives chargées.

FROTTEMENT sans charge.	PRESSION effective dans l'expérience.	VITESSE de l'expérience.	CHARGE sur niveau.	FROTTEMENT correspondant de la machine.	OBSERVATIONS.
livres.	livres par pouce car.	milles par heure.	tonnes.	livres.	
156	57,5	7,50	188	350	
156	57,5	12,0	186	367	
109	65,5	3,35	244	163	
109	55,0	10,0	183	309	. .
108	48,5	6,60	168	221	.
187	57,25	2,50	193	348	
187	58,0	3,25	183	453	
187	56,5	3,0	189	352	
152	55,0	3,50	240	190	.
152	53,5	9,23	196	490	.
152	55,0	6,0	199	517	. . .
152	51,0	7,50	202	339	. . .
194	61,75	3,75	219	616	La machine est gênée par les bielles de connexion de ses roues.
151	»	»	200	362	

MÊME TABLEAU EN

Expériences sur le frottement des

NUMÉRO de l'expérience.	DATE.	NOM de la machine.	DIAMÈTRE du cylindre.	COURSE du piston.	DIAMÈTRE de la roue.	POIDS.
	1834.		centimètr.	centimètr.	mètres.	tonneaux.
I . . .	22 juillet.	VULCAN . .	27,9	40,6	1,53	8,47
II. . .	*id* . .	*id* . .	*id.*	*id.*	*id.*	*id.*
VI. . .	24 juillet.	FURY . . .	27,9	40,6	1,53	8,33
XIV. .	4 août. .	*id* . .	*id.*	*id.*	*id.*	*id.*
XV . .	15 août. .	LEEDS. . .	27,9	40,6	1,53	7,18
XVI. .	16 août. .	VESTA. . .	28,3	40,6	1,53	8,85
XVII. .	*id* . .	*id* . .	*id.*	*id.*	*id.*	*id.*
XVIII.	*id* . .	*id* . .	*id.*	*id.*	*id.*	*id.*
III. . .	23 juillet.	ATLAS. . .	30,5	40,6	1,53	11,58
IV. . .	*id* . .	*id* . .	*id.*	*id.*	*id.*	*id.*
V . . .	*id* . .	*id* . .	*id.*	*id.*	*id.*	*id.*
X . . .	31 juillet.	*id* . .	*id.*	*id.*	*id.*	*id.*
XIII. .	4 août. .	*id* . .	*id.*	*id.*	*id.*	*id.*
		Moyennes				

MESURES FRANÇAISES.

machines locomotives chargées.

FROTTEMENT sans charge.	PRESSION affective dans l'expérience.	VITESSE de l'expérience.	CHARGE sur niveau.	FROTTEMENT correspondant de la machine.	OBSERVATIONS.
kilogramm.	Kg. par centimètre carré.	kilomètres par heure.	tonneaus.	kilogrammes.	
61	4,04	12,07	191	159	
61	4,04	19,31	189	166	
49	4,60	5,36	248	74	
49	3,86	16,09	186	140	
49	3,41	10,62	171	100	
84	4,02	4,02	196	158	
84	4,08	5,23	186	205	
84	3,97	4,83	192	159	
68	3,86	5,63	244	86	
68	3,76	14,85	199	222	
68	3,86	9,65	202	234	
68	3,58	12,07	205	154	
87	4,34	6,03	222	279	La machine est gênée par les bielles de connexion de ses roues.
68			203	164	

En considérant la moyenne déduite de ces expériences, on voit qu'une charge de 200 tonnes occasionne dans la machine, au delà de sa résistance propre, un frottement additionnel de $362^{lb} - 151^{lb} = 211^{lb}$; ce qui fait $1^{lb},05$, ou, en nombre rond, 1 livre par tonne.

En mesures françaises, une charge de 203 tonneaux produit un frottement additionnel de 96 kilogrammes, ce qui fait $0,^{kg}47$, ou, en nombres ronds, un demi-kilogramme par tonneau.

§ 4. *Nouveaux développements sur le mode de détermination employé.*

Le frottement doit effectivement être accru par la charge, car c'est un principe de statique facile à reconnaître dans une machine simple comme le levier, la poulie, le treuil, etc., que, lorsque deux forces se font équilibre sur cette machine, ce n'est qu'à condition que l'axe, plan, ou point fixe supportera la résultante de ces deux forces. Donc la pression sur le point fixe est en proportion de cette résultante. S'il y a mouvement, nous avons vu que dès que ce mouvement est parvenu à l'uniformité, la puissance fait précisément équilibre à la résistance, ou la machine retombe dans le cas précédent. Donc, encore, la pression sur les points fixes est en proportion des forces qui se font équilibre sur la machine. Par conséquent, le frottement suit la même règle, puisqu'il est lui-même proportionnel à la pression.

Ceci s'applique aux frottements sur tous les joints d'une machine, et, par conséquent, à ce que nous appelons sa résistance passive, qui n'est que l'ensemble de tous ces frottements.

Une augmentation de résistance en raison de la charge est donc fondée en principe, et le mode de calcul que nous avons employé doit nous en donner exactement la mesure. Il suffit pour cela que la machine soit réellement arrivée à la limite de son pouvoir avec une pression donnée, c'est-à-dire, à la charge *maximum* qu'elle peut tirer à cette pression. Pour les cas où la machine réduisait sa vitesse jusqu'à raison de 2 à 3 milles seulement par heure, il est patent qu'on était arrivé à ce point, puisque la machine était littéralement au point de s'arrêter. Mais en outre, on va voir que pour tous les cas où la vitesse n'excédait pas 12 milles par heure, on était également en droit de prendre la pression sur le piston comme égale à celle de la chaudière.

En effet, la vapeur étant à un certain degré de pression dans la chaudière, passe dans le tuyau étroit de communication, et de là dans le cylindre, où elle se dilate d'abord et s'élèverait promptement au même degré de pression que dans la chaudière si le piston était immobile. Cependant ce piston, n'opposant au contraire qu'une certaine résistance déterminée par la charge que tire la machine, 40 lb. par pouce carré par exemple, obéira dès que la force élastique de la vapeur dans le cylindre aura atteint ce point. Un piston qui ne supporte du'une

résistance de 40 lb. par pouce carré n'est autre chose qu'une soupape chargée de 40 lb. par pouce carré. Si la communication entre la chaudière et le cylindre était complétement libre et sans tuyau ou étrécissement, le piston deviendrait une vraie soupape pour la chaudière; et cette soupape cédant avant la soupape de sûreté qui est chargée par exemple de 50 lb. par pouce carré, la vapeur dans la chaudière ne pourrait s'élever au delà de 40 lb. Comme il y a étrécissement de passage, le piston n'est pas une soupape pour la chaudière; mais il en reste une pour le cylindre.

Il résulte de ceci trois points: 1° que la pression dans le cylindre est strictement égale à la résistance sur le piston; 2° que c'est parce que le piston cède et fuit devant la vapeur que celle-ci ne peut augmenter sa pression au delà de ce point et s'élever à la pression de la chaudière, mais que si par un moyen quelconque on rendait le piston immobile ou seulement qu'il ne s'éloignât pas plus vite que ne se forme la vapeur, l'équilibre de pression s'établirait aussitôt entre le cylindre et la chaudière; et 3° que s'il y a dans le tuyau de communication une vitesse plus grande que celle qui correspond à la vitesse de formation de la vapeur dans la chaudière, c'est parce que la pression est moindre dans le cylindre que dans la chaudière et que le fluide cherche en conséquence à se mettre en équilibre dans les deux vases, sans quoi il n'y aurait que le courant dû à la production de vapeur.

D'après ces observations, on voit que la pression effective sur le piston pourra être calculée sur celle qui existe dans la chaudière, dès que la vitesse du piston sera réduite à être celle de formation de la vapeur. Comme nous connaîtrons bientôt par expérience quelle est la masse totale de vapeur à la pression de la chaudière produite par les machines dans un instant donné, il nous sera facile de calculer combien de cylindres pleins de vapeur à cette même pression la machine peut fournir dans une minute, et ainsi quelle est la vitesse qui correspond à ce que nous appelons pleine pression dans le cylindre. Nous verrons alors qu'elle est, pour les machines que nous considérons, de 12 milles par heure, au moins. Ainsi, nous pouvons considérer que, dans tous les cas où la vitesse n'a pas excédé ce taux, la pression dans le cylindre était la même que dans la chaudière; et qu'ainsi, en la calculant telle, nous avions la mesure exacte de la puissance alors appliquée par la machine.

CHAPITRE CINQUIÈME.

THÉORIE GÉNÉRALE DU MOUVEMENT DES LOCOMOTIVES.

—

ARTICLE PREMIER.

DE LA VITESSE DU PISTON.

Lorsqu'on a tenté de calculer les effets des machines à vapeur, c'est-à-dire la vitesse du piston sous une charge donnée, on a jusqu'ici voulu établir le calcul sur deux données: la pression de la vapeur dans la chaudière, et la résistance de la charge sur le piston.

Ce mode semble exact au premier abord et paraît comprendre toutes les données du problème; mais on aurait dû reconnaître l'erreur où l'on était à cet égard, en voyant que tous les essais qui ont été faits pour arriver à quelque formule, par ce moyen, n'ont rien produit qui ne soit réduit au néant par l'expérience.

C'est en voulant appliquer ce mode ou ces for-

mules au mouvement des machines locomotives, pour déterminer la charge qu'elles pourront conduire à une vitesse donnée, ou la vitesse qu'elles prendront sous une charge connue, qu'on s'aperçoit qu'on n'est arrivé qu'à un résultat inadmissible.

La cause en est dans ce fait, que la pression dans la chaudière n'est nullement la mesure *complète* du pouvoir de la machine. Elle n'en est que l'indicateur pendant un instant déterminé. Elle suffit bien pour tous les cas où il s'agit de comparer l'effort appliqué à l'effet produit durant un instant très-court, ou dans le cas d'équilibre; mais dès qu'il s'agit d'une continuation de mouvement, la pression dans la chaudière devient insuffisante pour représenter la puissance de la machine. Il arrive ici ce qui arrive partout en mécanique. Dans un cas d'équilibre, une force est mesurée par la masse à laquelle elle fait équilibre; mais dans un cas de mouvement, cette force est représentée par la masse qu'elle met en mouvement, et encore par la vitesse qu'elle peut communiquer à cette masse; c'est-à-dire que la force est représentée par sa propre intensité, et par la vitesse avec laquelle elle peut soutenir cette intensité. Il en est de même ici. La pression dans la chaudière indique la masse à laquelle peut faire équilibre la machine; mais c'est la vitesse de production de la vapeur qui indique le mouvement que la machine pourra communiquer à cette masse.

Il est évident, en effet, que la puissance de la

machine réside à la fois dans la masse plus ou moins grande de vapeur produite et dans le degré de pression ou de force élastique de cette vapeur. Cette puissance consiste donc dans la quantité d'eau que cette machine peut transformer en vapeur dans un temps déterminé, comme une minute, par exemple, ce que nous appellerons la force de vaporisation de la machine, et dans le degré de pression de cette vapeur.

Dans cette évaluation, on voit que la pression n'est plus que le moyen de constater l'état de la force dans l'instant qu'on en mesure la quantité; ce qui explique pourquoi, lorsque le mouvement ne doit avoir aucune durée et qu'ainsi la quantité devient inutile à considérer, la pression suffit à représenter la puissance. Mais il n'en est pas ainsi dans le cas d'un mouvement continué.

Si l'on met une machine en expérience, quelque faible qu'elle soit sous le rapport de la vaporisation, il sera facile, en chargeant sa soupape de 50 lb. par pouce carré, de remplir la chaudière de vapeur à cette pression effective. Si alors on attache à cette machine une charge de 100 tonnes, qui produirait, je suppose, sur le piston une résistance de 46 lb. par pouce carré, pression atmosphérique comprise, dira-t-on que cette machine va nécessairement conduire cette charge à une certaine vitesse fixe, laquelle ne dépendrait que de la pression dans la chaudière et de la résistance sur le piston? Non, assurément. Car s'il

arrive que cette machine transforme par minute un pied cube d'eau en vapeur à la pression de la chaudière, elle pourra par cette vaporisation suffire à une certaine vitesse; mais si elle n'en vaporise que la moitié, tout restant le même du reste, il est clair qu'elle ne pourra remplir le cylindre que moitié moins de fois par minute, et qu'ainsi la pression dans la chaudière pourra rester strictement la même; mais la vitesse de la machine avec la même charge devra nécessairement se réduire à moitié. Et l'on voit ainsi que ni l'état de la pression dans la chaudière, ni la supposition que cette pression se maintienne constante dans les différents cas du mouvement, ne suffisent à représenter complétement la puissance de la machine.

C'est donc la vaporisation dont la machine est capable, qui en réglera l'effet, et qui doit par conséquent nous donner la mesure de cet effet.

Si, par analogie avec d'autres chaudières déjà essayées et par la comparaison de l'étendue des surfaces de chauffe, on calcule à l'avance quelle quantité de vapeur à une pression donnée, une chaudière est en état d'élever par minute, on peut commencer à se former une idée du pouvoir dont elle disposera et que la machine sera susceptible de mettre en action. Si, pour mieux faire encore, on remplit cette chaudière d'eau, et qu'en produisant dans le foyer, par des moyens quelconques, un feu aussi intense qu'il l'est ordinairement dans

le service, on s'assure ainsi de sa force de vaporisation ; alors seulement on connaîtra ce que la machine à laquelle on adjoindra cette chaudière sera capable d'exécuter en un temps donné.

La pression dans la chaudière, prise isolément, ne peut déterminer qu'une seule des questions à considérer. C'est la limite de charge que peut conduire la machine par la nécessité qu'il y a que la résistance sur le piston n'excède jamais la pression dans la chaudière, attendu qu'alors la résistance serait plus grande que la force motrice, et le mouvement ne pourrait se créer. Hors ce cas, il faut nécessairement recourir à la force de vaporisation, parce que la pression n'est que l'un des éléments de la force qu'on a besoin d'évaluer. Mais voici l'influence séparée de chacun de ces deux éléments dans le résultat.

La limite de charge possible est marquée par le degré de pression dans la chaudière.

Et la limite de vitesse avec cette charge, ou avec toute autre, est donnée par la force de vaporisation.

C'est donc en employant l'un et l'autre que nous arriverons à la solution de la question.

Dans ce but, nous allons nous occuper successivement de trois points :

La résistance produite sur le piston par une charge donnée ;

La pression de la vapeur dans le cylindre, en vertu de cette résistance ;

Et enfin la détermination par expérience de la force de vaporisation des machines.

Ces bases une fois établies, l'effet d'une machine se calculera facilement en comparant la force de traction qu'exige la charge, ce qui fixe la dépense de pouvoir réclamé de la machine, avec la masse de pouvoir dont elle peut disposer, c'est-à-dire sa force de vaporisation.

ARTICLE II.

DE LA RÉSISTANCE SUR LE PISTON, DUE A UNE CHARGE DONNÉE.

Nous avons déjà expliqué que lorsqu'une charge est attachée à une machine, la résistance *totale* qui s'oppose au mouvement du piston, se compose, 1° de la résistance de la charge; 2° de celle de la machine; et 3° de la pression atmosphérique. De même, la force élastique *réelle* de la vapeur n'est pas exprimée par sa pression *effective*, mais bien par sa pression *totale*.

Dans les calculs que nous avons faits jusqu'ici, n'ayant eu à comparer la puissance et la résistance que dans des cas d'égalité ou d'équilibre, et sans mélange d'autre considération, nous avons pu, de part et d'autre, retrancher une même quantité, c'est-à-dire, ne compter que la pression effective et la résistance effective. Mais ici nous aurons besoin de considérer la vapeur par rapport à son volume;

et comme ce volume est déterminé par la pression *totale*, nous devons garder cette expression de la force élastique, ainsi que celle qui lui correspond pour la force résistante.

Ainsi, la résistance sur le piston se compose de la résistance de la charge, de celle de la machine et de celle de l'atmosphère. De ces trois forces, celle due à la pression atmosphérique s'exerce immédiatement et directement sur le piston. Elle doit être mue par conséquent à la vitesse même de ce piston. Mais il n'en est pas ainsi des deux autres. On a déjà dit que, dans une machine, les pressions exercées en divers points sont en raison inverse des vitesses de ces points. Ici la machine et son train doivent être mues à une vitesse plus grande que celle du piston, dans le rapport de la circonférence de la roue à deux fois la longueur de la course. L'intensité de la pression exercée sur le piston, en vertu de la résistance de la charge et de celle de la machine, est donc plus grande que ces mêmes résistances dans le rapport ci-dessus de la vitesse de la roue à celle du piston.

Si M représente le nombre de tonnes ou de tonneaux dont se compose la charge totale, c'est-à-dire convoi compris, et n la résistance par tonne, nM sera la résistance du train. Si en même temps F exprime la résistance passive de la machine sans charge, δ le frottement additionnel par unité de la charge, $F + \delta M$ sera le frottement de la machine dans l'instant qu'elle tire la charge M.

Ainsi :

$$F + \delta M + nM$$

sera la résistance opposée à la progression le long des rails par la machine et son train.

Cette force produisant sur le piston une résistance augmentée dans le rapport de la circonférence de la roue à deux fois la course du piston, si D est le diamètre de la roue, l la longueur de la course, et π le rapport de la circonférence au diamètre,

$$(F + \delta M + nM)\frac{\pi D}{2l}$$

sera la résistance sur le piston, due à cette force; c'est-à-dire, due au frottement de la machine et de son train.

De même, en représentant par d le diamètre du cylindre, πd^2 sera l'aire des deux pistons, et

$$\frac{(F + \delta M + nM)\frac{\pi D}{2l}}{\frac{1}{2}\pi d^2}, \text{ ou } (F + \delta M + nM)\frac{D}{d^2 l}$$

sera la même force répartie sur le piston, par unité de surface.

En y ajoutant donc la pression atmosphérique par unité de surface, que nous représenterons par p, on aura enfin pour la pression totale due à la

résistance :

$$R = (F + \delta M + nM) \frac{D}{d^2 l} + \rho.$$

Lorsqu'on se sert des mesures anglaises, M est le poids de la charge en tonnes ; n est égal à 8 lb., et $\delta = 1$ lb. ; D, l et d sont exprimés en pouces ; F et ρ sont exprimés en livres ; ainsi, la valeur de R que l'on trouve, est la pression résultante sur le piston, en livres par pouce carré.

En mesures françaises, le poids de la charge M est exprimé en tonneaux ; n, qui est la résistance par tonneau de la charge, est en kilogrammes $3^{kg},64$. Le frottement F de la machine est exprimé en kilogrammes, et δ son frottement additionnel par tonneau est en kilogrammes $0^{kg},45$. Le diamètre des roues, celui du cylindre et la longueur de la course sont exprimés en centimètres ; ρ la pression atmosphérique, ici exprimée en kilogrammes par centimètre carré, est $1^{kg},033$. Enfin, la valeur obtenue pour R sera, par conséquent, la pression sur le piston, exprimée en kilogrammes par centimètre carré.

En appliquant ceci à une charge de 100 tonnes tirées par une machine avec cylindres de 11 pouces de diamètre, course 16 pouces, roue 5 pieds, frottement propre 110 lb., on trouvera :

$100 \times 8^{lb} = 800^{lb}$, résistance du train en livres.
110, frottement de la machine sans charge.
100, frottement additionnel dû à la charge.
1010^{lb}, résistance totale au mouvement de progression des roues.

$3,1416 \times 60^{po} = 188^{po},50$, circonférence de la roue, exprimée en pouces.

$2 \times 16^{po} = 32^{po}$, double de la course.

$\frac{188,5}{32} = 5,887$, rapport des vitesses de la roue et du piston.

Ainsi, $1010^{lb} \times 5,887 = 5946^{lb}$, résistance produite sur le piston.

En outre, $\frac{3,1416 \times (11)^2}{2} = 190^{po}$, aire des deux pistons en pouces carrés.

Donc $\frac{5946^{lb}}{190} = 31^{lb},2$, résistance sur le piston, répartie par pouce carré de sa surface.

Et enfin $31^{lb},2 + 14^{lb},7 = 46^{lb}$, résistance définitive par unité de surface du piston d'une machine à cylindres de 11 pouces de diamètre, etc., résultant d'une charge de 100 tonnes.

ARTICLE III.

DE LA PRESSION DANS LE CYLINDRE.

La résistance sur le piston étant connue, on peut en déduire à quelle pression se trouve la vapeur dans l'instant qu'elle agit comme force motrice dans le cylindre. Il suffit pour cela d'observer ce qui se passe dans le mouvement.

La vapeur étant d'abord enfermée dans la chaudière à une pression quelconque, passe dans les tuyaux de communication et de là dans les cylindres. En arrivant dans ceux-ci, dont l'aire est environ dix fois celle des tuyaux, cette vapeur doit nécessairement se dilater en perdant proportionnellement de sa force élastique. Cependant le piston est encore immobile; ainsi, la vapeur continuant d'arriver rapidement, l'équilibre de pression s'établit promptement entre la chaudière et le cylindre. La pression est bientot la même dans les deux vases, et le piston, poussé par la force de cette vapeur, commence à se mouvoir lentement. Le mouvement se communique à la machine et à tout son train, et la masse entière prend une certaine vitesse. Cette vitesse acquise se continuant un peu après la cessation de la cause qui l'a produite, il arrive qu'à la course suivante la vapeur trouve le piston déjà lentement entraîné dans le sens rétrograde, au moment où elle lui imprime une nouvelle quantité

de mouvement, laquelle passe encore à la masse totale où elle continue de s'accumuler. Ainsi, recevant à chaque course une nouvelle impulsion et conservant l'ancienne, le piston accélère peu à peu sa vitesse et le train finit par acquérir toute la vélocité que la machine est capable de lui communiquer.

Nous avons dit qu'à l'origine du mouvement l'équilibre de pression s'établit entre la chaudière et le cylindre; mais à mesure que la vitesse du piston s'accroît, celui-ci fuit en quelque sorte devant la vapeur sans lui donner le temps d'établir cet équilibre, et la pression dans le cylindre baisse nécessairement.

Cependant l'augmentation de cette vitesse et ainsi la diminution de pression ont une limite. Dans toute machine on observe que la vitesse, très-petite d'abord, s'accroît par degrés comme on vient de le dire, mais jusqu'à un certain point qu'elle ne dépasse plus, le moteur n'étant pas capable d'une plus grande vitesse avec la masse qu'il a à mouvoir. Si la machine est bien faite et surtout si elle est régularisée par un volant, cette vitesse une fois atteinte se conserve sans altération, quoique l'action du moteur puisse continuer de varier, ou, si l'on veut, d'osciller entre certaines limites; et le mouvement devient tout à fait uniforme.

Dans les machines que nous considérons, c'est la masse même du train qui fait l'office de volant. Cette masse reçoit et emmagasine en quelque sorte

les quantités de mouvement imprimées par le moteur dans ses moments de plus grande action, pour les restituer ensuite quand ce moteur est dans un moment de moindre force. C'est de la difficulté d'accroître la vitesse de cette masse et de la difficulté de la diminuer, que résulte l'uniformité du mouvement du tout.

A l'égard de certaines parties de la machine, qui, comme le piston par exemple, doivent nécessairement varier de vitesse pendant la durée de leurs oscillations, cette uniformité dont il est question ici doit s'entendre d'une exacte périodicité, qui fait qu'en chaque point d'une oscillation la vitesse est précisément la même qu'elle était au même point de l'oscillation précédente; d'où il résulte que, si l'on prenait la durée d'une de ces oscillations pour l'unité de temps, le mouvement serait strictement uniforme.

Dès que le mouvement est parvenu à l'uniformité, ce qui arrive toujours après un temps très-court, et ce qui est l'état normal de la machine pendant sa marche, le moteur, qui dans l'origine du mouvement avait dû exercer un effort nécessairement plus grand que la résistance, n'a plus besoin que de faire une dépense de force précisément capable de tenir cette résistance en équilibre. Car, si le moteur appliquait une force plus petite ou plus grande, le mouvement serait accéléré ou retardé, tandis que par le fait il est uniforme.

Dès ce moment donc, la pression de la vapeur dans le *cylindre*, qui est l'effort appliqué par le moteur, doit être égale à la pression de la résistance contre le piston qui est l'effort exercé par la résistance, ce que nous avons déjà prouvé ailleurs d'une manière moins développée.

Ainsi nous connaissons la pression à laquelle la vapeur se dépense par le cylindre; et comme nous connaissons aussi le volume de ce cylindre, nous en pouvons conclure la dépense absolue de pouvoir, faite à chaque coup de piston. C'est cette dépense qui, comparée à la masse totale de vapeur dont peut disposer la machine, nous donnera sans difficulté la vitesse du mouvement.

ARTICLE IV.

DE LA FORCE DE VAPORISATION DES MACHINES.

§ 1. *Expériences sur la force de vaporisation des machines.*

Il reste à déterminer l'élément principal de la question: c'est la force de vaporisation des machines, ou la quantité d'eau qu'elles peuvent transformer en vapeur sous une pression déterminée en un temps donné.

Dans ce but, nous entreprîmes une suite d'expériences sur la quantité d'eau vaporisée par les ma-

chines du railway de Liverpool à Manchester, pendant le trajet entre ces deux villes.

Tous les convois d'approvisionnement de ce railway ayant exactement les mêmes dimensions, et le pesage de l'un d'eux, pris successivement à vide et chargé, ayant prouvé que chaque pouce de hauteur d'eau dans le réservoir correspondait exactement à un poids de 206^{lb},5, voici comment on procédait.

On reconnaissait d'abord, au moyen du niveau d'eau à tube de verre, jusqu'à quelle hauteur la chaudière se trouvait remplie d'eau à l'instant du départ; puis on prenait la hauteur exacte de celle que contenait alors le convoi. Arrivé à la fin du voyage, ou à la station intermédiaire si l'on s'arrêtait pour reprendre de l'eau, on remplissait d'abord la chaudière jusqu'à la même hauteur où elle était avant le départ, et l'on mesurait ce qu'il restait d'eau dans le convoi. La différence entre les deux hauteurs dans le convoi donnait la consommation d'eau qui s'était faite pendant le trajet.

En rapportant ces expériences, afin qu'on ait sous les yeux à la fois tous les éléments qui peuvent intéresser dans la question, nous donnerons la charge de la machine, le temps du trajet qui fait connaître la vitesse, l'intervalle parcouru étant de 29 $\frac{1}{2}$ milles ou 47 $\frac{1}{2}$ kilomètres, l'état de la balance de la soupape d'où résulte la pression, et enfin l'état de température de l'eau dans le convoi au mo-

ment du départ. On expliquera plus loin la colonne qui contient le soulèvement total de la soupape, qui laisserait échapper toute la vapeur formée dans la chaudière.

Digitized by Google

Expériences sur la force de

NUMÉRO de l'expérience.	DATE.	NOM de la machine.	CHARGE de la machine, convoi compris.	EAU vaporisée pendant le voyage, en livres.	EAU vaporisée pendant le voyage, en pieds cubes.	TEMPS total du voyage.	DÉLAIS sur la route inclus dans ce temps.
	1834.		tonnes.	lb.	p. cubes.	heures.	
I. . . .	22 juillet.	VULCAN .	39,07	4646	74,34	1.17′	3′
II . . .	23 *id.* . .	ATLAS. .	195,50	8260	132,16	3.17	15
III. . .	4 août .	*id* . .	127,64	5937	94,99	1.58	»
IV. . .	31 juillet.	*id* . .	40,15	5524	88,38	1.54	»
V . . .	24 *id.* . .	FURY . .	56,16	4878	78,05	1.30	»
VI. . .	*id* . .	*id* . .	48,80	5446	87,14	1.35	»
VII . .	26 *id.* . .	FIREFLY.	41,40	6143	98,29	1.40	5
VIII. .	*id* . .	*id* . .	41,40	6040	96,64	1.23	5
IX. . .	1er août.	VESTA. .	33,15	4130	66,08	1. 5	»
X . . .	15 *id.* . .	LEEDS. .	88,34	5989	95,82	1.35	»
XI. . .	*id* . .	*id* . .	37,51	5317	85,07	1.20½	3

vaporisation des machines.

ÉTAT moyen de la balance de la soupape.	SOULÈVEMENT de la soupape suffisant pour donner issue à la totalité de la vapeur qui se forme dans la chaudière.	PRESSION effective moyenne durant l'expérience, en livres par pouce carré.	ÉTAT de température de l'eau dans le cuvni au moment du départ.	VITESSE de la machine en milles par heure.	VAPORISATION par heure dans chaque expérience.	SURFACE du chauffe exposée à l'action du calorique rayonnant.	SURFACE du chauffe exposée à la chaleur de communication.
		lb.		milles.	pieds cubes.	pi. car.	pieds car.
31....32,5	5	54,5	à peine tiède.	22,99	57,92	34,45	307,38
50....50,7	4	53,7	froide.	8,99	40,25	57,06	217,88
50....50,1	4	55	froide.	15,00	48,30	*id.*	*id.*
24....25,5	4	30	froide.	15,53	46,52	*id.*	*id.*
31,2..32,6	5	57	froide.	19,67	52,03	32,87	307,38
31,2..32,7	5	57	froide.	18,63	55,03	*id.*	*id.*
14,5..14,5	3	44	presque froide.	17,70	58,97	45,91	362,60
16,6..17,3	3	49	tiède.	21,33	69,86	*id.*	*id.*
20....21,3	3,5	51	très-chaude.	27,23	61,00	46,00	256,08
31....32,2	5	54	à peine tiède.	18,63	60,52	34,57	307,38
26,5..28,5	5	49	très-chaude.	21,99	63,41	*id.*	*id.*
Moyennes.				18,88	55,82	43,12	288,35

MÊME TABLEAU EN

Expériences sur la force de

NUMÉRO de l'expérience.	DATE.	NOM de la machine.	CHARGE de la machine, convoi compris.	EAU vaporisée pendant le voyage.	TEMPS total du voyage.	DÉLAIS sur la route inclus dans ce temps.
	1834.		tonneaux.	mètr. cub.	heures.	
I . . .	22 juillet .	VULCAN. .	39,68	2,105	1.17′	3′
II . . .	23 *id* . . .	ATLAS . .	198,55	3,742	3.17	15
III. . .	4 août . .	*id* . .	129,63	2,690	1.58	»
IV. . .	31 juillet .	*id* . .	40,78	2,503	1.54	»
V . . .	24 *id* . . .	FURY. . .	57,04	2,210	1.30	»
VI. . .	*id* . . .	*id* . .	49,56	2,467	1.35	»
VII . .	26 *id* . . .	FIREFLY. .	42,05	2,783	1.40	5
VIII. .	*id*. . .	*id* . .	42,05	2,736	1.23	5
IX. . .	1er août .	VESTA . .	33,67	1,871	1. 5	»
X . . .	15 *id* . . .	LEEDS . .	89,72	2,713	1.35	»
XI. . .	*id*. . .	*id* . .	38,09	2,409	1.20 ½	3

MESURES FRANÇAISES.

vaporisation des machines.

ÉTAT moyen de la balance de la soupape.	SOULÈVEMENT de la soupape suffisant pour donner issue à la totalité de la vapeur qui se forme dans la chaudière.	PRESSION effective moyenne durant l'expérience, en kilogrammes par centimètre carré.	ÉTAT de température de l'eau dans le convoi au moment du départ.	VITESSE de la machine en kilomèt. par heure.	VAPORISATION par heure dans chaque expérience.	SURFACE de chauffe exposée à l'action du calorique rayonnant.	SURFACE de chauffe exposée à la chaleur de communication.
		kilogramm.		kilomèt.	mètre cube.	mèt. car.	mèt. car.
31....32,5	5	3,83	à peine tiède.	36,99	1,640	3,205	28,557
50....50,7	4	3,77	froide.	14,46	1,140	5,301	20,240
50....50,1	4	3,72	froide.	24,14	1,368	*id.*	*id.*
24....25,5	4	2,11	froide.	24,99	1,317	*id.*	*id.*
31,2..32,6	5	4,01	froide.	31,65	1,473	3,056	28,557
31,2..32,7	5	4,01	froide.	29,98	1,558	*id.*	*id.*
14,5..14,5	3	3,09	presque froide.	28,48	1,670	4,078	33,685
16,6..17,3	3	3,44	tiède.	34,32	1,978	*id.*	*id.*
20....21,3	3,5	3,58	très-chaude.	43,82	1,727	4,273	23,789
31....32,2	5	3,80	à peine tiède.	29,98	1,714	3,214	28,557
26,5..28,5	5	3,44	très-chaude.	35,38	1,795	*id.*	*id.*
Moyennes.				30,38	1,580	4,007	27,788

Dans ces expériences nous avons fait mention de l'état de température de l'eau dans le convoi, parce que cette circonstance doit favoriser plus ou moins la vaporisation, attendu qu'il est plus facile d'amener au point de l'ébullition de l'eau déjà chaude que d'y amener de l'eau froide. Cependant, comme la température que nous notons dans le convoi n'a lieu qu'au moment du départ, et qu'elle ne peut se conserver telle que pendant une faible partie du trajet, dont la durée est d'une heure et demie à deux heures, elle n'a réellement qu'une influence très-minime dans le résultat, ce que nous pouvons d'ailleurs reconnaître dans les expériences ci-dessus.

Nous avons également noté la pression sous laquelle se formait la vapeur dans chaque expérience. L'eau ne pouvant se vaporiser sous une haute pression qu'en vertu d'une température plus élevée, on a lieu de penser que, toutes circonstances égales d'ailleurs, la machine doit être capable de vaporiser moins d'eau sous une pression plus considérable. Mais, comme on verra plus loin, dans une table que nous donnerons sur le volume et la température de la vapeur, qu'entre les degrés de pression où travaillent constamment ces machines, savoir, entre 50 et 60 lb. de pression *effective* par pouce carré, la différence de température n'est que de 9 degrés de Fahrenheit, ou si l'on veut 5 degrés du thermomètre centigrade, ce qui ne donne par conséquent que 4 $\frac{1}{2}$ degrés de Fahrenheit, ou 2° $\frac{1}{2}$ cen-

tigrades de différence avec la pression moyenne, on doit se convaincre facilement que l'influence de la pression dans la quantité d'eau vaporisée doit être à peu près insensible. D'ailleurs, quand on emploie une pression moins élevée, la vapeur qui se forme sous cette pression occupe plus d'espace, la chaudière se trouve trop petite pour la contenir, et la soupape est par conséquent plus sujette à souffler. Il en résulte que le machiniste, qui se règle sur la soupape, la voyant continuellement souffler, ne pousse pas son feu aussi activement que dans le cas où la soupape est fixée à une plus haute pression. Cette circonstance vient donc en compensation de la première et la dépasse fréquemment.

Aussi, dans les expériences rapportées, ne voyons-nous que la vitesse qui ait un effet constant et bien sensible sur la vaporisation produite.

Cet effet de la vitesse tient à ce que, dans ces machines, la vapeur en sortant des cylindres est jetée dans la cheminée pour y créer un courant artificiel, et agit exactement à la manière d'un soufflet pour attiser le feu. Dans cette action chaque jet de vapeur dans la cheminée représentant une pulsation du soufflet, il devient clair que plus le mouvement de la machine sera rapide, plus il y aura par minute de cylindres de vapeur jetés dans la cheminée, et ainsi plus le feu sera violemment excité.

En examinant les expériences, on trouve effectivement que, plus la vitesse était grande, plus la

vaporisation a été considérable. C'est pourquoi, en cherchant à déterminer la force de vaporisation, il est nécessaire de prendre les machines dans leur vitesse moyenne.

La vitesse de 18 $\frac{1}{2}$ milles ou 35 kilomètres par heure, qui est la moyenne de nos expériences, remplit assez bien cette condition pour les machines de Liverpool. Nous devons donc regarder la vaporisation correspondante, qui a été en pieds cubes de $55^{pi\ cub}$,82, ou en mètres cubes de $1^{m\ cub}$,580 par heure, comme étant la vaporisation moyenne convenable aux machines employées.

Toutefois, on voit que quelques-unes de ces machines ont vaporisé jusqu'à 60 ou 62 pieds cubes d'eau par heure ; ce qui fait un pied cube par minute ou une livre d'eau par seconde.

§ 2. *De la force de vaporisation par unité de surface de chauffe.*

Cependant, comme les diverses machines qui figurent dans les expériences ont des surfaces de chauffe différentes, on ne pourra avoir une détermination précise de la force de vaporisation qu'en rapprochant les effets de vaporisation des dimensions de la surface qui les produit.

C'est l'objet des deux dernières colonnes que nous avons ajoutées au tableau précédent, et qui reproduisent les dimensions des surfaces de chauffe des machines, telles qu'elles ont été données en détail

dans le premier chapitre de cet ouvrage (chap. I, art. II, § 3).

D'après les moyennes de ces deux colonnes, on voit que la vaporisation moyenne dont nous venons de parler a été produite par une surface de chauffe, consistant en 43,12 pieds carrés exposés à l'action du calorique rayonnant, et $288^{pi\,c}$,35 exposés à la chaleur communicative. C'est donc à cette étendue de surface vaporisante qu'il faut rapporter l'effet produit.

Si l'on admet, d'après l'expérience rapportée dans le premier chapitre de cet ouvrage (chap. I, art. II, § 3), que chaque unité de surface exposée à l'action de la chaleur de communication produit le tiers de l'effet que produirait la même surface exposée à l'action du calorique rayonnant, la surface de chauffe ci-dessus pourra être représentée par 139,24 pieds carrés exposés à l'action immédiate ou rayonnante du feu. Puisque ces 139,24 pieds carrés ont produit en une heure une vaporisation de $55^{pi\,cub}$,82, on voit que chaque pied carré a vaporisé un volume d'eau, exprimé en pieds cubes, de $0^{pi\,cub}$,401.

Ainsi, à la vitesse de 18 milles par heure, qui est à peu près la moyenne vitesse de ces machines, chaque pied carré de surface de chauffe, exposé à l'action rayonnante du feu, vaporise par heure un volume d'eau de $0^{pi\,cub}$,401 ou un peu plus que 0,4 de pied cube. C'est l'expression de la *force de vaporisation de la machine par unité de surface de*

chauffe. En la multipliant, pour chaque machine, par l'étendue de la surface de chauffe, on aura la force de vaporisation totale de cette machine.

En mesures françaises, la même force de vaporisation, par unité de surface de chauffe par heure, est représentée par un volume d'eau en mètres cubes de $0^{m\,cub},122$, vaporisé par chaque mètre carré de surface de chauffe, à une vitesse moyenne de 35 kilomètres par heure.

§ 3. *De la force de vaporisation effective des machines.*

Il faut remarquer cependant que, quoique la totalité de cette eau soit transformée en vapeur, il n'y en a réellement qu'une partie qui soit appliquée au jeu du mécanisme. Il suffit, pour se convaincre de ce fait, d'examiner les soupapes de ces machines durant le travail. On les verra constamment émettre une quantité considérable de vapeur, qui, au lieu de se rendre dans les cylindres, s'échappe immédiatement dans l'atmosphère. Cette perte est un défaut qu'il ne serait peut-être pas impossible de corriger, et ce serait à coup sûr la meilleure route à suivre pour arriver à une économie de combustible.

Le remplacement qu'on va faire en ce moment, des cylindres actuels de ces machines par d'autres d'un diamètre plus grand, aura du moins l'avantage, dans le cas de charges considérables, d'uti-

liser toute la vapeur produite par la chaudière.

Dans les expériences que nous venons de rapporter, cette perte est non-seulement observable, mais elle est même susceptible d'une certaine évaluation.

Sous le titre, *État de la soupape*, nous avons inscrit dans le tableau ci-dessus, d'après l'observation dans chaque expérience, le point de départ de la balance de cette soupape, et ensuite son point de soufflement. L'intervalle entre ces deux degrés donne le soulèvement qui avait lieu à la soupape durant l'expérience, soulèvement en vertu duquel se faisait l'échappement de la vapeur. Ainsi, dans la première expérience, la soupape de *Vulcan*, fixée à 31 comme point de départ à la balance, s'élevait à 32 $\frac{1}{2}$ par le soufflement; et par conséquent le soulèvement de la soupape était de 1 $\frac{1}{2}$ degré à la balance. De même pour les autres.

Dans la colonne suivante, nous avons donné la quantité de soulèvement suffisant à la soupape de chacune des machines pour donner issue à la totalité de la vapeur que cette machine peut produire. Ce point a pu être observé déjà dans nos expériences sur la pression. On y a vu que, quelque soin qu'on prenne d'activer le feu, on ne peut jamais faire soulever la soupape au delà d'un certain point, parce qu'alors cette soupape donne issue à toute la vapeur formée. La connaissance précise de ce point était facile à acquérir par l'observation dans les nombreuses expériences que nous al-

lons bientôt rapporter sur la vitesse des machines.

Nous avons trouvé, par exemple, que la machine *Atlas*, courant avec toute sa vitesse et arrêtée tout à coup dans l'instant qu'elle produisait le plus de vapeur, soulevait sa soupape du degré 50 au degré 54, et que le passage qui résultait de ce soulèvement suffisait pour l'évacuation totale de la vapeur. De même, *Leeds*, *Vulcan* et *Fury* élèvent en même circonstance leur balance de 31 à 36, *Vesta* de 20 à 23 $\frac{1}{2}$, et *Firefly* de 17 à 20, les secondes soupapes de ces machines étant d'ailleurs aux points indiqués pour chacune d'elles dans nos expériences sur la pression. Ces degrés de soulèvement dépendent, comme on le pense bien, d'abord de la quantité de vapeur produite par chaque machine et du diamètre de la soupape; ensuite des dimensions des leviers et de la grandeur des divisions de la balance, qui font qu'un degré à cette balance correspond à un soulèvement plus ou moins grand; et enfin de la seconde soupape, qui peut elle-même donner une issue plus ou moins grande à la vapeur, ou n'en pas donner du tout.

Ces circonstances expliquent la différence qui paraît exister entre les machines. Dans *Atlas*, la seconde soupape ne donnait pas issue à la vapeur, et la première n'a que 2 $\frac{1}{2}$ pouces de diamètre; mais les divisions de la balance de cette machine étant très-grandes à cause des proportions du levier, quatre divisions de cette balance donnaient un soulèvement considérable à la soupape et qui suf-

fisait à l'évacuation de la vapeur. Dans *Leeds*, *Vulcan* et *Fury*, la seconde soupape ne se levait pas dans les pressions que nous avons employées ; mais la première soupape que nous considérons ici a 3 pouces de diamètre. Dans *Vesta*, la seconde soupape donnait passage à la vapeur, en même temps que la première ; d'où résulte que $3^{lb},5$ de soulèvement à la balance suffisaient à l'évacuation de la vapeur. Enfin, *Firefly* ne faisait souffler qu'une de ses soupapes; mais, dans le moment des expériences, cette machine était en très-mauvais état. L'eau de la chaudière se perdait dans le foyer où elle se vaporisait, et il ne s'amassait réellement que peu de vapeur dans l'intérieur de la chaudière.

L'expérience répétée ayant donc indiqué ces points d'une manière certaine, il devient possible, avec les éléments que nous avons à notre disposition, d'évaluer la quantité de vapeur qui s'échappait durant les expériences ci-dessus. Il suffit pour cela de comparer les deux colonnes, dont l'une montre le soulèvement qui avait effectivement lieu, et l'autre le soulèvement qui aurait été suffisant pour l'émission de toute la vapeur. On trouvera ainsi, que le soulèvement qui a eu lieu dans les expériences était, en degrés des balances, de 12 sur 46,5. Il y avait donc un quart de la vapeur qui se trouvait perdue par la soupape; on pourrait même dire un peu plus, surtout en considérant que la machine *Firefly*, alors en mauvais état, perdait en outre de la vapeur par les fissures de sa chaudière.

D'autre part, cette perte de vapeur n'est pas accidentelle. Elle est au contraire inhérente à la construction même de ces machines, et parmi toutes les expériences que nous citerons bientôt sur la vitesse, on n'en verra, pour ainsi dire, pas une où cet effet ne se soit produit; et s'il ne se produit pas, c'est que le feu n'est pas poussé avec toute l'intensité qu'on peut lui donner. Il est donc nécessaire d'établir une distinction entre la force de vaporisation des machines, et ce que nous appellerons leur force de vaporisation *effective*, c'est-à-dire la partie de ce pouvoir qui est effectivement appliquée à la progression de la machine.

D'après les expériences ci-dessus, de toute la vapeur formée, les trois quarts seulement parviennent dans les cylindres.

Ainsi, la force de vaporisation, par pied carré de surface de chauffe exposée à la chaleur rayonnante, étant en pieds cubes de $0^{pi\ cub},401$, la partie effective de cette force, ou *la force de vaporisation effective en pieds cubes d'eau vaporisés en une heure par pied carré de surface, est* $0^{pi\ cub},301$, savoir, 3 *dixièmes de pied cube.*

En mesures françaises, la force de vaporisation, rapportée de même à l'unité de surface de chauffe, étant $0^{m\ cub},122$, *la force de vaporisation effective, en mètres cubes d'eau vaporisée en une heure par mètre carré de surface de chauffe exposée à la chaleur rayonnante, est* $0^{m\ cub},092$, savoir, 9 *centièmes de mètre cube.*

Enfin, en retournant à la moyenne des expériences ci-dessus, la force de vaporisation par heure a été en pieds cubes de $55^{pi\ cub},82$, ou en mètres cubes de $1^{m\ cub},580$; ainsi la force de vaporisation *effective*, prise de même sur la totalité de la surface de chauffe et pour l'ensemble des machines, est de $41^{pi\ cub},87$, ou $1^{m\ cub},185$.

ARTICLE V.

DE LA VITESSE DE LA MACHINE AVEC UNE CHARGE DONNÉE.

§ 1er. *Expression analytique de la vitesse avec une charge donnée.*

Avec ces éléments il est facile de déterminer la vitesse que peut prendre une machine sous une charge donnée.

Supposons, par exemple, qu'il s'agisse d'une charge de 100 tonnes convoi compris, attachée à une machine à cylindres de 11 pouces de diamètre, course 16 pouces, roues 5 pieds, frottement propre 110 livres, pression *effective* de la vapeur dans la chaudière 50 lb. par pouce carré, et enfin force de vaporisation effective telle que nous venons de la trouver pour la moyenne des machines de Liverpool, c'est-à-dire en pieds cubes d'eau par heure, de $41^{pi\ cub},87$.

Nous avons déjà trouvé plus haut (chap. V,

art. II,) que la résistance *totale* opposée par cette charge au mouvement du piston, dans le cas de cette machine, était de 46 lb. par pouce carré; et nous avons vu aussi qu'en raison de cette résistance, la pression totale de la vapeur, lorsqu'elle arrive dans le cylindre, devait être aussi de 46 lb. par pouce carré.

La masse d'eau vaporisée se compose de 41,87 pieds cubes par heure, ou si l'on veut, de $0^{pi\ cub},70$ par minute. Cette eau se transforme d'abord, dans la chaudière, en vapeur, à la pression effective de 50 lb. par pouce carré, ou à la pression totale de 65 lb. par pouce carré.

Mais on connaît le volume de la vapeur d'eau formée sous une pression déterminée. L'expérience a permis d'en dresser des tables, dont on trouvera une un peu plus loin, § 4. D'après ces tables, la vapeur élevée sous la pression totale de 65 lb. par pouce carré, occupe un volume 435 fois aussi grand que celui de l'eau qui la produit. Ainsi, l'eau vaporisée par la machine, chaque minute, et appliquée au mouvement, formait un volume de vapeur, à la pression totale de 65 lb. par pouce carré, de

$$0^{pi\ cub},70 \times 435 = 304 \text{ pieds cubes.}$$

Cette vapeur, en pénétrant dans les cylindres, s'y réduit à la pression de 46 lb. Sa température se conserve cependant la même, parce que les

tuyaux qui la conduisent aux cylindres, et les cylindres eux-mêmes, sont plongés dans la chaudière, ou enveloppés dans la flamme qui sort du foyer. On sait que le volume occupé par la vapeur, quand sa température reste la même, augmente en raison inverse de la pression. Dans le moment où elle arrive dans les cylindres, cette même masse de vapeur occupe donc un volume plus grand dans le rapport de 65 à 46.

Ainsi, son volume total est alors

$$304 \times \frac{65}{46} = 430 \text{ pieds cubes.}$$

Or, l'aire des deux cylindres est de 190 pouces carrés, ou en pieds carrés, $1^{pi\,e},32$; donc le volume ci-dessus de 430 pieds cubes de vapeur, passant par minute dans les cylindres, doit nécessairement les traverser avec une vitesse de

$$\frac{430}{1,32} = 326 \text{ pieds par minute ;}$$

ce qui nous donne, par conséquent, la vitesse du piston en pieds par minute, avec cette charge.

Pour en déduire celle de la machine en milles par heure, il faut observer qu'une heure contient 60 minutes, ainsi la vitesse par heure sera 60 fois plus grande; un mille contient 5280 pieds, ainsi, il faut diviser par ce nombre pour avoir la vitesse exprimée en milles; et enfin la vélocité de la ma-

chine, d'après la proportion de la course au diamètre de la roue, est 5,887 fois celle du piston.

On aura, par conséquent,

$\frac{326 \times 60}{5280} \times 5{,}887 = 21^{mil}{,}83$, vitesse de la machine en milles par heure.

Ainsi, l'on voit que la vaporisation ci-dessus produit nécessairement un mouvement de 21 $\frac{3}{4}$ milles par heure pour la machine; c'est-à-dire qu'une locomotive avec les proportions données ci-dessus pourra, si elle est en bon état et son feu bien activé, conduire une charge de 100 tonnes, convoi compris, à la vélocité de 21 milles $\frac{3}{4}$ par heure.

Le calcul se ferait de même pour toute autre charge et toute autre machine. Ainsi, en général, reprenant les notations employées un peu plus haut dans la recherche de la résistance sur le piston, c'est-à-dire:

M représentant le nombre des tonnes ou tonneaux de la charge;

n, la résistance de la charge par tonne;

F, le frottement de la machine sans charge;

δ, son frottement additionnel pour chaque tonne de la charge;

D, le diamètre de la roue;

d, celui du cylindre;

l, la longueur de la course;

Et ρ, la résistance atmosphérique par unité de surface;

$$R = (F + \delta M + nM)\frac{D}{d^2 l} + p$$

sera la pression de la vapeur par unité de surface dans le cylindre, comme on l'a démontré plus haut (chap. V, art. II).

Si, en outre, P exprime la pression totale de la vapeur dans la chaudière ; que s représente la force de vaporisation *effective* de la machine exprimée par le nombre de pieds cubes (ou de mètres cubes) que la chaudière peut vaporiser par minute à la pression P; et m le rapport du volume de la vapeur, à ce degré de pression P, au volume de l'eau;

$$m \times s$$

sera le volume total de vapeur produite par minute, à la pression P de la chaudière.

Cette vapeur, en arrivant dans le cylindre, passera de cette pression P à la pression R, et changera de volume dans la raison inverse des pressions : de sorte que

$$ms \times \frac{P}{R}$$

sera le volume qu'occupera la même vapeur une fois parvenue dans les cylindres.

Ce volume de vapeur traversant les cylindres dans une minute, si nous le divisons par l'aire de ces cylindres, nous aurons la vitesse à laquelle il

doit nécessairement passer, et par conséquent la vitesse qu'il communiquera au piston.

Or, l'aire des deux cylindres est $\frac{1}{2}\pi d^2$; donc la vitesse par minute sera

$$\frac{m\,s\,P}{\frac{1}{2}\pi d^2 R} = v.$$

Il faut noter que pour effectuer cette division, l'aire des cylindres doit nécessairement être exprimée en mêmes unités que le volume s. Cette aire des cylindres sera donc exprimée en pieds carrés ou en mètres carrés, et non en pouces ou centimètres, ce qui entraîne la même condition pour les pressions R, P et ρ. Ainsi, il faudra dans le calcul exprimer les pressions en livres par pied carré, ou en kilogrammes par mètre carré, ce qui au fond représente toujours la même force que si l'on employait la mesure accoutumée.

Pour passer de cette expression à la vitesse de la machine, on sait que celle-ci est à la vitesse du piston dans le rapport de la circonférence de la roue à deux fois la course; ainsi, la vitesse de la machine sera

$$V = \frac{m\,s\,P\,D}{R\,d^2\,l};$$

ou, mettant pour R sa valeur trouvée plus haut, et passant de la vitesse par minute à la vitesse par heure, en multipliant par 60,

$$V = 60\,\frac{m\,s\,P\,D}{(F + \delta M + nM)\,D + \rho\,d^2\,l}.$$

On remarquera que 60 s n'est autre chose que S, ou la force de vaporisation *par heure*, c'est-à-dire qu'en employant celle-ci, on n'aura pas besoin de multiplier par 60; ce qui simplifiera ce calcul dans ses applications.

Ainsi, la formule sera

$$V = \frac{m\,S\,P\,D}{(F + \delta M + nM)\,D + \rho\, d^2\, l}.$$

Telle sera donc l'expression générale de la vitesse de la machine par heure; expression dans laquelle tout est connu par des mesures prises sur la machine, même la force de vaporisation S, qui résulte de l'étendue des surfaces de chauffe, telles qu'on en a donné la mesure plus haut. m, qui est le volume de la vapeur sous la pression P, est donné par des tables connues, dont on trouvera une plus loin (chap. V, art. V, § 4).

Il sera donc possible, avec cette formule et sur de simples mesures prises sur la machine, de déterminer aussitôt l'effet qu'on en doit attendre.

Dans cette expression, le pouvoir de vaporisation S étant exprimé en pieds cubes ou en mètres cubes, la vitesse résultante sera de même exprimée en pieds ou en mètres. Si l'on veut l'avoir en milles ou en kilomètres, comme un mille contient 5280 pieds, et un kilomètre contient 1000 mètres, il suffira dans le premier cas de diviser par 5280, et dans le second cas de diviser par 1000. Le ré-

sultat sera la vitesse de la machine en milles ou en kilomètres par heure, selon l'unité adoptée.

§ 2. *Expression analytique de la charge que peut conduire une machine à une vitesse déterminée.*

Si au contraire on veut connaître la charge qu'une machine donnée peut conduire à une vitesse déterminée, il suffit, dans la relation précédente, de considérer V comme connue et d'en tirer l'inconnue M.

Ce sera

$$M = \frac{m\,S\,P\,D - \rho\,d^2\,l\,V}{(\delta + n)\,V\,D} - \frac{F}{\delta + n}.$$

D'après la manière dont le calcul a été établi, il est clair que la valeur qu'on trouvera pour M sera le nombre de tonnes ou tonneaux de la charge totale, c'est-à-dire convoi compris.

Il faut ajouter qu'en tous cas, pour que le mouvement soit possible, la résistance sur le piston ne doit pas être plus grande que la force qui doit le mouvoir. Ainsi, cette résistance, que nous avons exprimée par R, doit être tout au plus égale à P. Cette observation fixe la limite de charge possible avec une pression déterminée. Au delà de ce point, l'équation pourra bien donner des valeurs, mais elles ne conviendront plus à la question. La limite de charge avec la pression P, sera donc connue par l'équation $R = P$, ou

$$(F + \delta M + nM)\frac{D}{d^2 l} + \rho = P,$$

qui donne

$$M = \frac{(P - \rho)\, d^2 l}{(\delta + n)\, D} - \frac{F}{\delta + n}.$$

En mettant cette valeur de M dans la formule précédente, on aura la vitesse correspondante à cette charge *maximum*. Après les réductions convenables, on trouve

$$V = \frac{m\, S\, D}{d^2 l}.$$

Si l'on écrit cette expression sous la forme

$$V = \frac{m\, S}{\frac{1}{2}\pi\, d^2} \times \frac{\pi D}{2 l},$$

on reconnaîtra à la première vue qu'elle n'est autre chose que la vitesse produite par le passage dans les cylindres de la vapeur de la chaudière, quand cette vapeur n'éprouve aucune réduction de pression.

C'est-à-dire que, dans le cas de la charge *maximum*, la pression de la vapeur dans le cylindre sera la même que dans la chaudière, et que la vitesse sera celle de formation de la vapeur dans la chaudière; résultats qui sont du reste évidents d'eux-mêmes et que nous avons signalés déjà.

A l'égard des limites de la vitesse, les machi-

nistes ne la poussent jamais au point de risquer un accident par une trop grande rapidité dans le mouvement du piston ou des autres parties du mécanisme. On ne verra qu'une fois, dans les expériences que nous allons donner, les machines atteindre la vélocité de 35 milles ou 56 kilomètres par heure ($12\frac{3}{4}$ lieues). C'est la plus grande vitesse qu'on ait observée jusqu'ici, si ce n'est pour un intervalle de temps extrêmement court. Quand le train est trop léger, on prend soin de fermer partiellement le régulateur et de ne pas pousser le feu à l'extrême.

§ 3. *De la détermination de toute autre inconnue du problème.*

Enfin, il faut ajouter encore que la même relation trouvée ci-dessus pourra servir à la détermination d'une quelconque des indéterminées du problème général des locomotives ; c'est-à-dire qu'elle fera connaître, par exemple, la surface de chauffe ou force de vaporisation nécessaire à une machine pour la rendre capable de conduire une charge connue à une vitesse fixée ; ce sera

$$S = \frac{V\left[(\delta + n)\,M\,D + F\,D + \rho\, d^2\, l\right]}{m\,P\,D}.$$

De même, l'équation de laquelle nous avons conclu, il y a un instant, la limite de charge possible avec une pression donnée, pourra servir à

déterminer le diamètre à donner aux cylindres d'une machine, pour la mettre en état de tirer une charge donnée à une certaine pression, savoir :

$$d = \sqrt{\frac{D\,[(\delta + n)\,M + F]}{(P - p)\,l}};$$

de même pour les autres. Ces déductions sont faciles à faire; nous nous bornerons à les indiquer.

Les formules que nous venons de trouver sont d'une application extrêmement simple, et donneront immédiatement, et en moins de deux minutes de calcul, l'effet que peut produire une machine donnée, soit sous le rapport de la vitesse, soit sous le rapport de la charge.

§ 4. *Table du volume de la vapeur formée sous différentes pressions, nécessaire pour l'application de la formule.*

L'usage des formules que nous venons d'obtenir nécessitant la connaissance du volume de la vapeur aux différents degrés de pression, nous en joignons ici une table que nous avons calculée de 5 en 5 livres de pression. On pourrait facilement en remplir les degrés intermédiaires; mais c'est une opération inutile, parce que nous allons voir que la pression a si peu d'influence sur la vitesse, qu'on peut dans le calcul se borner à prendre dans la table la pression la plus voisine de celle dont on a besoin, pourvu qu'on prenne aussi le volume qui correspond à cette pression approximative.

La raison de ce peu d'influence de la pression dans le résultat, est qu'à mesure que la pression augmente, le volume de la vapeur diminue; de sorte que le produit m P, que contient l'équation, reste constant pour des valeurs de P rapprochées l'une de l'autre. Nous allons dans un instant voir ce fait se vérifier dans le calcul des vitesses des machines avec différentes pressions.

Table du volume de la vapeur formée sous différentes pressions.

PRESSION TOTALE EXPRIMÉE en livres par pouce carré.	PRESSION TOTALE EXPRIMÉE en atmosphères.	TEMPÉRATURE correspondante au thermomètre de Fahrenheit.	VOLUME de la vapeur rapporté au volume de l'eau qui l'a produite.
livres.	atmosph.	degrés.	
15	1,021	212,6	1670
20	1,361	227,9	1282
25	1,701	240,3	1044
30	2,041	250,8	885
35	2,381	260,0	767
40	2,721	268,1	678
45	3,061	275,4	609
50	3,401	282,0	553
55	3,742	288,1	506
60	4,082	293,8	468
65	4,422	299,1	435
70	4,762	304,0	407
75	5,102	308,7	382
80	5,442	313,1	360
85	5,782	317,3	341
90	6,122	321,3	324
95	6,463	325,1	308
100	6,803	328,8	294

TABLEAU ANALOGUE, EN MESURES FRANÇAISES.

Table du volume de la vapeur formée sous différentes pressions.

PRESSION TOTALE EXPRIMÉE en kilogramm. par centimètre carré.	PRESSION TOTALE EXPRIMÉE en atmosphères.	TEMPÉRATURE correspondante au thermomètre centigrade.	VOLUME de la vapeur rapporté au volume de l'eau qui l'a produite.
kilogramm.	atmosph.	degrés.	
1	0,968	99,0	1754
1,25	1,210	105,5	1428
1,50	1,452	111,0	1207
1,75	1,694	115,8	1048
2,00	1,936	120,0	927
2,25	2,178	123,8	832
2,50	2,420	127,3	755
2,75	2,662	130,5	692
3,00	2,904	133,5	639
3,25	3,146	136,3	594
3,50	3,388	138,9	555
3,75	3,630	141,3	521
4,00	3,872	143,6	491
4,25	4,114	145,8	465
4,50	4,356	147,9	441
4,75	4,598	149,9	420
5,00	4,840	151,9	401
5,25	5,082	153,7	384
5,50	5,324	155,5	368
5,75	5,566	157,1	353
6,00	5,808	158,8	340

§ 5. *Tableau des vitesses des machines avec des charges données, d'après le calcul.*

Nous donnerons un exemple de l'application des formules trouvées plus haut, en calculant un tableau des vitesses que prendront des machines à cylindres de 11 pouces, etc., cylindres de 12 pouces avec des charges données.

Pour que cette recherche soit applicable à la généralité des machines, nous prendrons la force de vaporisation telle qu'elle a été trouvée par la moyenne des expériences ci-dessus. Pour les cas particuliers, il faudrait mettre pour la force de vaporisation, la pression, etc., celles qui conviennent aux cas que l'on veut considérer.

A l'égard des signes employés dans la formule, nous rappellerons que lorsqu'on fait usage des mesures anglaises, on a :

n, résistance par tonne de la charge, $= 8$ lb.

δ, frottement additionnel de la machine par tonne de la charge, $= 1$ lb.

ρ, pression atmosphérique, $= 14^{lb},7$ par pouce carré, ou par pied carré, $= 2117$ lb.

Si l'on se sert des mesures françaises :

$n = 3^{kg},64$; $\delta = 0^{kg},45$; $\rho = 1^{kg},033$ par centimètre carré, ou 10330 kilog. par mètre carré.

Enfin, les pressions effectives doivent être d'abord transformées en pressions totales, et ensuite prises par pied carré ou par mètre carré.

Dans chaque colonne, nous nous arrêterons à la limite de charge que peut conduire la machine avec cette pression.

Calcul des vitesses des locomotives avec des charges données.

DÉSIGNATION des machines.	Charge en tonnes, convoi compris.	VITESSE SUR NIVEAU en milles par heure, la pression effective en livres par pouce carré dans la chaudière étant			ETAT du régulateur.
		50 lb.	55 lb.	60 lb.	
	tonnes.	milles.	milles.	milles.	
MACHINE avec cylindres 11 pouces de diamèt., ou en pieds. 0p,917 course 16 pouces, ou 1p,33 roue. . . . . 5p frottem. sans charge. 110lb. force de vaporisation effective, en pi. cubes d'eau par heure. . 41p c,87	25	40,07	40,38	40,60	1
	50	31,34	31,58	31,76	1
	75	25,74	25,93	26,08	1
	100	21,83	22,00	22,12	1
	125	18,96	19,10	19,21	1
	150	16,75	16,88	16,97	1
	166	15,59	15,71	15,80	1
	175	»	15,12	15,21	1
	184	»	14,58	14,66	1
	202	»	»	13,67	1
MACHINE avec cylindres 12 pouc., ou 1pi course 16 pouces, ou 1p,33 roue. . . . . 5p frottem. sans charge. 152lb. Force de vaporisation effective, en pieds cub. d'eau par heure. . . 41p c,87	25	34,45	34,71	34,91	1
	50	27,80	28,01	28,16	1
	75	23,29	23,47	23,60	1
	100	20,05	20,21	20,32	1
	125	17,60	17,73	17,83	1
	150	15,68	15,80	15,89	1
	175	14,14	14,25	14,33	1
	195	13,11	13,21	13,28	1
	200	»	12,98	13,05	1
	217	»	12,23	12,30	1
	255	»	»	10,91	1

TABLEAU ANALOGUE EN MESURES FRANÇAISES.

Calcul des vitesses des locomotives avec des charges données.

DÉSIGNATION des machines.	Charge en tonneaux convoi compris.	VITESSE SUR NIVEAU en kilomètres par heure, la pression effective en kilogrammes par centimètre carré dans la chaudière étant			ÉTAT du régulateur.
		3kg.,50	4 kg.	4kg.,50.	
	tonn.	kilom.	kilom.	kilom.	
MACHINE avec cylindres 27cm,9 de diamètre, ou . . . 0m,279 course. . . . . 0m,406 roue. . . . . 1m,525 frottem. sans charge. 50kg Force de vaporisation effective, en mèt. cub. d'eau par heure . 1m c,185	25	64,19	64,85	65,47	1
	50	50,18	50,70	51,18	1
	75	41,20	41,62	42,02	1
	100	34,94	35,30	35,63	1
	125	30,33	30,64	30,93	1
	150	26,80	27,07	27,33	1
	165	25,05	25,30	25,54	1
	175	»	24,25	24,48	1
	190	»	22,82	23,03	1
	200	»	»	22,17	1
	216	»	»	20,90	1
MACHINE avec cylindres. . . . . 0m,305 course. . . . . 0m,406 roue. . . . . 1m,525 Frottem. sans charge. 68kg Force de vaporisation effective, en mèt. cub. d'eau par heure. . 1m c,185	25	55,21	55,78	56,31	1
	50	44,49	44,95	45,38	1
	75	37,30	37,68	38,04	1
	100	32,10	32,43	32,73	1
	125	28,16	28,45	28,72	1
	150	25,09	25,35	25,59	1
	175	22,63	22,86	23,08	1
	195	20,97	21,19	21,39	1
	200	»	20,81	21,01	1
	225	»	19,10	19,28	1
	256	»		17,50	1

On remarque ici, comme nous l'avons dit plus haut, que toute l'influence de la pression se porte sur la limite de charge, mais que son effet est à peu près nul sur la vitesse. Ce résultat est conforme aux principes; car si la pression nécessaire sur le piston pour mouvoir la charge est de 46 lb. par pouce carré par exemple, n'est-il pas vrai que, pourvu que la vapeur soit abondamment fournie à cette pression par la surface de chauffe, il importe fort peu qu'elle soit d'abord emmagasinée dans la chaudière à une pression de 75 lb. ou de 65 lb., ou à tout autre degré? Il faudra toujours en définitive qu'au moment d'agir, cette vapeur se transforme en vapeur à 46 lb. de pression, et la vitesse dépendra uniquement de la quantité de vapeur à 46 lb. qui aura été fournie par la chaudière. Le petit avantage que nous remarquons ici en faveur d'une plus grande pression, tient seulement à ce que, dans ce cas, le feu dans le foyer est naturellement un peu plus intense; d'où résulte non pas plus d'eau vaporisée, mais la même quantité, malgré une plus haute pression.

Ces tables font connaître l'effet qu'on peut attendre d'une machine donnée, soit sous le rapport de la vitesse, soit sous celui de la charge; mais il est entendu que cet effet ne sera produit qu'autant qu'on mettra la machine en mesure d'appliquer tout son pouvoir.

Si, par exemple, au lieu d'activer suffisamment le feu, on le laisse languir, la quantité d'eau vapo-

risée par minute se réduira, et avec elle l'effet de la machine.

Si la machine, au lieu d'être en bon état, éprouve des pertes de vapeur par les fuites, soit autour du piston, soit par les fissures de la chaudière ou les soudures des tubes, soit par les boîtes à étoupes, soit ailleurs, il est clair que l'effet sera encore proportionnellement réduit.

Si, en diminuant l'ouverture du régulateur, on ne laisse pénétrer dans le cylindre qu'une portion de la vapeur engendrée, la chaudière continuant d'abord d'en fournir la même quantité, il y en aura nécessairement davantage qui se perdra par les soupapes sans agir sur le piston. Ensuite, dès que la diminution de vapeur lancée dans la cheminée aura calmé le feu, il y aura une moindre vaporisation produite, ce qui réglera par conséquent la vélocité. Ce cas est celui de toutes les petites charges tirées par les machines. On ne laisse jamais la vitesse s'accroître jusqu'à risquer un accident par un mouvement trop rapide du piston ou des autres parties du mécanisme. Quand les machinistes voient que le train courrait trop vite, ils diminuent d'abord l'ouverture du régulateur, et ne font qu'un feu modéré pour maintenir une vitesse raisonnable. Dans toutes les expériences que nous allons citer un peu plus loin, on ne verra qu'une seule fois, comme nous l'avons déjà dit, la vitesse monter à 35 milles ou 56 kilomètres par heure ($12\frac{3}{4}$ lieues), et c'est la plus grande vitesse

à laquelle aient encore été soumises les machines, si ce n'est pour un instant très-court.

Dans les tableaux ci-dessus, les limites de charge des machines, avec la pression indiquée, sont fixées, par la nécessité que la résistance sur le piston ne soit pas plus grande que la force qui doit le mouvoir, ainsi qu'il a été dit. Avec cette charge *maximum,* on voit qu'une machine de 11 pouces, ne travaillant pas au-dessous de 60 lb. de pression effective, aura encore une vitesse de 13 $\frac{1}{2}$ milles, et une machine de 12 pouces, avec une pression effective de 55 lb., conservera une vitesse de 12 milles par heure. Ces vitesses sont celles qui auront lieu si la machine travaille dans son état normal, c'est-à-dire si la soupape est fixée pour la pression de 60 lb. ou de 55 lb. Mais s'il arrive que la soupape ne soit réglée que pour une pression de 50 lb., par exemple, et que la pression de 60 lb. ne se produise que par un soulèvement extraordinaire de la soupape et à force de vapeur perdue, c'est-à-dire par le seul motif que la vapeur au-dessus de 50 lb. ne peut s'échapper aussi vite qu'elle se produit, alors il est clair que, quoique la force de vaporisation de la chaudière reste la même, la partie *effective* de cette force sera considérablement réduite, et avec elle se réduira la vitesse. C'est par ce motif que nous verrons dans les expériences la vitesse baisser quelquefois jusqu'à 2 ou 3 milles par heure. Mais qu'on observe alors l'état de la soupape. On verra la pression élevée ne se pro-

duire qu'à force de perte de vapeur, et il sera facile, par le soulèvement de la soupape, de se rendre compte de la diminution de vitesse.

Dans ces cas de charge *maximum*, il est évident que la vapeur se dépensera par le cylindre à la même pression qu'elle se produit dans la chaudière, et que la vitesse du piston ne sera autre que la vitesse de formation de cette vapeur. Ce fait a été prouvé d'une manière générale dans le § 2 de cet article. On peut le vérifier ici, en calculant à quelle vitesse la vapeur formée par minute, en vertu de la force de vaporisation, traverserait les cylindres sans aucune altération ou réduction de pression. On trouvera précisément pour les machines les vitesses que contient le tableau. Cela prouve que dans le cas où la machine ne marche qu'à cette vitesse, la pression dans le cylindre est la même que dans la chaudière.

Ces cas de charge limitée sont ceux qui nous ont servi à la détermination du frottement de la machine chargée, et l'on voit ici justifié le principe dont nous nous sommes alors servis, que dans le cas où la vitesse de la machine était inférieure à 12 milles par heure, la pression de la vapeur dans le cylindre était la même que dans la chaudière.

Enfin, il reste à dire qu'il y a toujours dans les machines une petite perte que nous n'avons pas introduite dans le calcul: c'est celle de la vapeur qui remplit à chaque coup de piston les passages qui mènent des tiroirs aux cylindres. Il serait fa-

cile d'en tenir compte d'après les mesures prises sur chaque machine, du diamètre et de la longueur de ces conduits ; mais cette perte est très-minime, et compliquerait le calcul sans avantage.

§ 6. *Expériences sur la vitesse et la charge des machines.*

Comme vérification des formules que nous venons de trouver, et pour qu'on puisse d'ailleurs asseoir au besoin des calculs sur des faits matériels, nous allons donner ici une suite d'expériences entreprises par nous dans le but de connaître les vitesses auxquelles les machines conduisent différentes charges avec différentes pressions de la vapeur, dans leur service ordinaire et régulier.

Ces expériences furent faites sur le railway de Liverpool à Manchester, dont voici la section, telle qu'elle résulte d'un nivellement fait, au mois d'août 1833, par M. Dixon, ingénieur de la compagnie. Nous ne donnons que la partie parcourue par les locomotives. Il y a en outre, sous la ville de Liverpool, trois passages souterrains, servis par des machines à vapeur stationnaires.

Le railway partant de la station à Liverpool, jusqu'à celle de Manchester, parcourt les distances et pentes suivantes :

mil		
0,53	niveau.	
5,23	descente.	à $\frac{1}{1094}$
1,47	montée	à $\frac{1}{96}$
1,87	niveau.	
1,39	descente.	à $\frac{1}{89}$.
2,41	descente.	à $\frac{1}{2762}$
6,60	descente.	à $\frac{1}{849}$
5,62	montée	à $\frac{1}{1300}$
4,36	montée	à $\frac{1}{4257}$
29,48	milles.	

D'après ces inclinaisons diverses, on voit que le même train offre des résistances variées suivant le point de la route où il se trouve, parce que la gravité de la masse totale en mouvement devient un allégement dans les descentes et un obstacle additionnel dans les montées.

Il en résulte qu'un train de 100 tonnes offre sur le niveau une résistance de 800 lb., outre le frottement propre de la machine; et que ce même train, s'il est par exemple tiré par une machine du poids de 10 tonnes, offre en arrivant à la montée à $\frac{1}{96}$ une résistance de 3366 livres, qui,

sur niveau, serait la résistance d'un train de 421 tonnes.

En effet, en observant qu'une tonne vaut 2240^{lb}, on trouvera alors pour la résistance :

$100 \times 8^{lb} = 800^{lb}$, résistance due au frottement.

$\frac{100 \times 2240^{lb}}{96} = 2333^{lb}$, résistance due à la gravité du train sur un plan incliné à $\frac{1}{96}$.

$\frac{10 \times 2240^{lb}}{96} = 233^{lb}$, résistance pareille due à la gravité de la machine.

3366^{lb}, résistance totale, non compris le frottement propre à la machine, équivalente à celle d'une charge de $\frac{3366}{8} = 421$ tonnes sur niveau.

C'est de cette manière que nous avons calculé la charge réelle de la machine, sur les diverses pentes qu'elle parcourt dans sa route.

La colonne suivante indique la pression dans la chaudière, d'abord exprimée par l'état de la balance et ensuite par son équivalent au manomètre. Ainsi, quand la balance, fixée à 57, s'élevait par le soufflement jusqu'à 58, nous avons écrit 57...58; et comme, pour *Atlas* par exemple, cet état de la balance correspond à une pression effective au

manomètre de 61 lb., nous avons écrit 57...58 =61 lb.

Enfin, nous avons tenu note de l'état du régulateur; mais nous devons ajouter que, la poignée du régulateur de ces machines ne tournant pas sur un cercle gradué, comme il serait bien mieux de le faire, nous n'avons pu inscrire le degré d'ouverture de ce régulateur que par estimation à la vue.

Les vitesses ont été soigneusement prises en inscrivant en minutes et quarts de minute l'heure du passage devant chaque quart de mille de la route. Ces quarts de mille sont marqués par des bornes numérotées. Au même instant nous prenions la pression dans la chaudière, sur la balance de la soupape.

Le poids des wagons a été pris *exactement* en tonnes, quintaux, quarts de quintal et livres. Les convois d'approvisionnement n'ont pas été pesés; mais on les a portés à leur poids moyen qui est de 5 tonnes $\frac{1}{2}$ quand on reprend de l'eau en chemin, et de 5 tonnes seulement dans le cas contraire. Les diligences contenant des voyageurs n'ont pu être pesées, le service du railway s'opposant à ce délai; mais on a porté ici leur poids moyen, ainsi qui celui des voitures particulières et des traîneaux.

On a noté l'état du temps, parce qu'on sait qu'un vent debout et surtout un vent latéral, qui presse le mentonnet des roues contre les rails, accroît la

résistance du train. Enfin, on a mentionné l'état de température de l'eau dans le convoi, pour qu'on puisse juger l'influence de cette circonstance, et l'on a donné la date de chacune des expériences comme point de vérification.

Expériences sur la vitesse

DATE DE L'EXPÉRIENCE et désignation de la machine et de sa charge.	PENTE de la route.	CHARGE de la machine rapportée au niveau.
1834		tonnes.
14 juillet, ATLAS, de Liverpool à Manchester,		
en $1^h\,31'$,... avec 25 wagons $118^t,90$	niveau.	124
délais $19'$ convoi . . . . $5^t,50$	descente. . $\frac{1}{1094}$	90
$1^h\,50'$ $124,40$	descente. . $\frac{1}{849}$	80
ATLAS { cylindre..... 12^{po}	montée . . $\frac{1}{1300}$	154
course . . . 16^{po}	montée . . $\frac{1}{4257}$	133
roue. . . . . 5^{pi} { six roues, dont quatre couplées.		
poids . . . . $11^t,40$		
frottement . 152 lb.		
surface de chauffe { foyer $57^{pc},06$ tubes 217, 88		
16 juillet, ATLAS, de Liverpool à Manchester,		
en $1^h\,25'$,... avec 20 wagons 99^t25	niveau	105
délais $5'$ convoi. . . . . $5,50$	descente. . $\frac{1}{1094}$	75
$1^h\,30'$ $104,75$	descente. . $\frac{1}{849}$	67
	montée . . $\frac{1}{1300}$	129
	montée . . $\frac{1}{4257}$	112
17 juillet, ATLAS, de Liverpool à Manchester,		
en $1^h\,27'$,... avec 15 wagons $65^t,4$	niveau	71
délais $3'$ convoi . . . . $5,5$	descente. . $\frac{1}{1094}$	50
$1^h\,30'$ 70^t9	descente. . $\frac{1}{849}$	44
	montée . . $\frac{1}{1300}$	89
	montée . . $\frac{1}{4257}$	76

et la charge des machines.

VITESSE en milles par heure.	PRESSION effective dans la chaudière en livres par pouce carré, d'après l'état de la balance.	ÉTAT du régulateur.	OBSERVATIONS.
milles.	lb.		
17,14	57...58 =61	$\frac{3}{4}$	La machine a été aidée sur le plan incliné à $\frac{1}{96}$ par 3 machines à cylindres de 11 pouces de diamètre. — Temps beau et calme. — Eau froide dans le convoi.
21,17	57... » =60	$\frac{3}{4}$	
23,72	57...60 =63	$\frac{3}{4}$	
18,75	57...59,5 =62,5	$\frac{3}{4}$	
17,89	57...58 =61	$\frac{3}{4}$	
15,00	50...51 =54	$\frac{3}{4}$	La machine a été aidée sur le plan incliné à $\frac{1}{96}$ par 2 machines à cylindres de 11 pouces de diamètre. — Temps beau et calme. — Eau un peu tiède dans le convoi.
21,43	50...51 =54	$\frac{3}{4}$	
25,07	50...52 =55	$\frac{3}{4}$	
22,64	50...51,25=54,25	1	
19,63	50... » =53	$\frac{3}{4}$	
20,00	50... » =53	$\frac{1}{2}$	La machine a été aidée sur le plan incliné à $\frac{1}{96}$ par une machine à cylindres de 11 pouces de diamètre. — Dans le train il y avait un essieu du wagon fumant pour être trop serré.— Temps beau et calme. — Eau très-chaude dans le convoi.
24,54	50...51 =54	$\frac{1}{2}$	
26,13	50... » =53	$\frac{1}{2}$	
21,51	50...52 =55	$\frac{1}{2}$	
20,81	50... » =53	$\frac{1}{2}$	

Expériences sur la vitesse

DATE DE L'EXPÉRIENCE, et désignation de la machine et de sa charge.	PENTE de la route.	CHARGE de la machine rapportée au niveau.
1834		tonnes.
17 juillet, ATLAS, de Manchester à Liverpool,		
en 1^h 26′... avec 8 wagons vides et	descente. . $\frac{1}{4257}$	26
5 chargés . . . . $22^t,45$	descente. . $\frac{1}{1300}$	22
délais 3′ convoi. . . . 5^t,	montée . . $\frac{1}{849}$	36
1^h 29′ $27^t,45$	montée . . $\frac{1}{89}$	114
23 juillet, ATLAS, de Liverpool à Manchester,		
en 3^h 2′... avec 40 wagons . 190^t,	niveau.	196
délais 15′ convoi . . . . $5^t,5$	descente. . $\frac{1}{1094}$	142
3^h 17′ $195^t,5$	descente. . $\frac{1}{849}$	127
	montée . . $\frac{1}{1300}$	240
	montée . . $\frac{1}{4257}$	209
23 juillet, ATLAS, de Manchester à Liverpool,		
avec 8 wagons. $33^t,90$	montée . . $\frac{1}{89}$	199
convoi. . . . . $5^t,5$		
$39^t,40$		
31 juillet, ATLAS, de Liverpool à Manchester,		
en 1^h 44′... avec 14 wagons. $61^t,65$	niveau.	67
délais 52′ convoi. . . 5^t	descente. . $\frac{1}{1094}$	59
2^h 36′ $66^t,65$	descente. . $\frac{1}{849}$	53
	montée . . $\frac{1}{1300}$	96
	montée . . $\frac{1}{4257}$	84

et la charge des machines.

VITESSE en milles par heure.	PRESSION affective dans la chaudière en livres par pouce carré, d'après l'état de la balance.	ÉTAT du régulateur.	OBSERVATIONS.
milles.	lb.		
26,47	50...51 =54	$\frac{2}{3}$	La machine a monté seule le plan incliné à $\frac{1}{89}$. — Sur le reste de la route la machine a conduit 2 wagons de plus. — Temps beau et calme. — Eau très-chaude dans le convoi.
31,43	50...50,5 =53,5	$\frac{2}{3}$	
27,93	50...52 =55	$\frac{2}{3}$	
15	50...53 =56	1	
9,23	50...50,5 =53,5	1	La machine a été aidée sur le plan incliné à $\frac{1}{96}$ par 4 machines, 3 à cylindres de 11 pouces et 1 à cylindres de 14 pouces. — Temps beau et calme. — Eau froide dans le convoi.
14,12	50... » =53	1	
16,21	50... » =53	1	
8	50...51,75=55	1	
5,87	50...51,5 =54,5	1	
6	50...52 =55	1	Temps calme.
20	30... » =33,5	1	La machine a gravi le plan incliné à $\frac{1}{96}$ avec son train en 2 fois. — Temps beau et calme.
21,82	30... » =33,5	1	
23,26	30...30,33=34	1	Dans cette expérience on a varié les pressions à dessein. — Sur la délai total il y a eu 26' pour une expérience.
19,75	25...27,75=31	1	
14,16	20...21, 5=25,5	1	

Expériences sur la vitesse

DATE DE L'EXPÉRIENCE, et désignation de la machine et de sa charge.	PENTE de la route.	CHARGE de la machine rapportée au niveau.
1834		tonnes.
31 juillet, ATLAS, de Manchester à Liverpool,		
en 1h 54'... avec 8 wagons	niveau.	40
chargés et 4 vides 35t,15	descente. . $\frac{1}{4257}$	37
délai » convoi. . . . 5t	descente. . $\frac{1}{2300}$	29
1h 54' 40t,15	montée . . $\frac{1}{849}$	57
	montée . . $\frac{1}{89}$	202
	montée . . $\frac{1}{1094}$	53
4 août, ATLAS, de Liverpool à Manchester,		
en 1h 58'... avec 25 wagons 122t,64	niveau.	128
délai » convoi. . . 5t	descente. . $\frac{1}{1094}$	92
1h 58' 127',64	descente. . $\frac{1}{849}$	82
	montée . . $\frac{1}{2300}$	158
	montée . . $\frac{1}{4257}$	137
4 août, ATLAS, de Manchester à Liverpool,		
avec 9 wagons	montée . . $\frac{1}{89}$	219
chargés et 7 vides 38t,76		
convoi 5t,50		
44t,26		

et la charge des machines.

VITESSE en milles par heure.	PRESSION effective dans la chaudière en livres par pouce carré, d'après l'état de la balance.	ÉTAT du régulateur.	OBSERVATIONS.
milles.	lb.		
16,38	20...23 =27,25	1	La machine e gravi le plan incliné à $\frac{1}{89}$ sans renfort. — Temps calme. Dans cette expérience, comme dans la précédente, on a baissé la pression à dessein.
19,53	20...20,5 =25	1	
23	20...20,75=25,25	1	
16,08	20...20,75=25,25	1	
7,50	45...47,5 =51	1	
15,79	20...20,25=24,75	1	
15	50... » =53	1	La machine a été eidée sur le plan incliné à $\frac{1}{96}$ par deux machines, l'une à cylindres de 11 pouces, l'autre à cylindres de 14 pouces de diamètre.— Temps beau et calme. — Eau fraide dans le convoi. On a vu dans les expériences sur le frottement des machines que ce jour Atlas avait un frottement de 194*lb.* au lieu de 152*lb.*
17,14	50... » =53	1	
20,52	50... » =53	1	
15,38	50...50,5 =53,5	1	
15,24	50... » =53	1	
3,75	57...58,75=61,75	1	Temps beau et calme.

Expériences sur la vitesse

DATE DE L'EXPÉRIENCE, et désignation de la machine et de sa charge.	PENTE de la route.	CHARGE de la machine rapportée au niveau.
1834		
24 juillet, FURY, de Liverpool à Manchester,		tonnes.
en 1h 30'... avec 10 wagons 51t,16	niveau.	56
délai » convoi. . . . 5t	descente. . $\frac{1}{2094}$	40
1h 30' 56t16	montée . . $\frac{1}{96}$	244
FURY { cylindres. . . 11po	descente. . $\frac{1}{849}$	35
course. . . . 16po	montée . . $\frac{1}{2300}$	70
roue. 5pi	montée . . $\frac{1}{4257}$	60
poids. 8t,20		
frottement. . 109 lb.		
surface de chauffe { foyer 32pe,87 / tubes 307,38		
24 juillet, Fury, de Manchester à Liverpool,	niveau.	49
en 1h 35'... avec 10 wagons 43t80	descente. . $\frac{1}{4257}$	45
délai » convoi. . . 5t	descente. . $\frac{1}{2300}$	56
1h 35' 48t,80	montée . . $\frac{1}{849}$	68
	montée . . $\frac{1}{89}$	228
	montée . . $\frac{1}{2094}$	63
	niveau.	38
4 août, FURY, de Manchester à Liverpool,	descente. . $\frac{1}{4257}$	35
en 1h 15'... avec 8 voitures	descente. . $\frac{1}{2300}$	28
de 1re classe 32t,97	montée . . $\frac{1}{849}$	53
délais 9 convoi. . . 5t	montée . . $\frac{1}{89}$	183
1h 24' 57t,97	montée . . $\frac{1}{2094}$	50

et la charge des machines.

VITESSE en milles par heure.	PRESSION effective dans la chaudière en livres par pouce carré, d'après l'état de la balance.	ÉTAT du régulateur.	OBSERVATIONS.
milles.	lb.		
17,14	31...32 =55	$\frac{3}{4}$	La machine a monté le plan incliné sans renfort. — Temps beau et calme. — Eau froide dans le convoi.
18	31...32 =55	$\frac{3}{4}$	
6,31	32...35 =65,5	1	
23,28	31...32 =55	$\frac{3}{4}$	
21,82	31...32,5 =55,5	$\frac{3}{4}$	
21,17	31...32 =55	$\frac{3}{4}$	
17,50	31...32 =55	$\frac{3}{4}$	La machine a monté le plan incliné sans renfort. — Temps beau; un vent latéral assez fort par instants. — Eau froide dans le convoi.
21,43	31...32 =55	$\frac{3}{4}$	
22	31...32 =55	$\frac{3}{4}$	
18,62	31...32 =55	$\frac{3}{4}$	
15	32...36 =67	1	
18,46	31...32 =55	$\frac{3}{4}$	
25	28...30 =52,5	1	La machine a monté le plan incliné sans renfort. — Temps beau et calme.
25,71	28...31 =54	1	
26,94	28...30,25=53	1	
24,61	28...30 =52,5	1	
13,33	28...33 =55	1	
24,82	28...30 =52,5	1	

Expériences sur la vitesse

DATE DE L'EXPÉRIENCE, et désignation de la machine et de sa charge.	PENTE de la route.	CHARGE de la machine rapportée au niveau.
1834		
15 août, FURY, de Manchester à Liverpool,		tonnes.
avec 28 wagons. . . 132t,75	niveau.	138
convoi. . . 5t,50	montée. . . $\frac{1}{1094}$	176
138t,25		
26 juillet, FIREFLY, de Liverp. à Manchester,		
en 1h35'. . . avec 8 voitures	niveau.	41
de 1re classe. . 36t,40	descente. . $\frac{1}{849}$	25
délai 5' convoi. . . 5t	montée . . $\frac{1}{1300}$	52
1h40' 41t,40	montée . . $\frac{1}{4257}$	45
FIREFLY { cylindres. . . 11po		
course 18po		
roue 5pi		
poids. 8t,74		
frottement. . 119lb.		
surface de chauffe { foyer 43pc91 / tubes 362,60		
26 juillet, FIREFLY, de Manchest. à Liverpool,	niveau.	41
en 1h18'. . . avec 8 voitures	descente. . $\frac{1}{4257}$	38
de 1re classe. . 36t,40	descente. . $\frac{1}{1300}$	31
délai 5' convoi. . . 5t	montée . . $\frac{1}{849}$	58
1h23' 41t,40	montée . . $\frac{1}{1094}$	54

et la charge des machines.

VITESSE en milles par heure.	PRESSION effective dans la chaudière en livres par pouce carré, d'après l'état de la balance.	ÉTAT du régulateur.	OBSERVATIONS.
milles.	lb.		La machine n'a parcouru que cette partie de la route avec ce train. — Son feu n'était dans toute son activité que sur la dernière partie du trajet; elle y avait en outre l'impulsion provenant de la descente du plan à $\frac{1}{96}$. — Temps beau. — Rails mauvais.
10,91	31...32,5 =55,5	1	
13,33	31...32,5 =55,5	1	
24	17... » =50	1	La machine est en mauvais état et va entrer en réparation. — Elle a été aidée sur le plan incliné à $\frac{1}{96}$ par une autre machine à cylindres de 11 pouces de diamètre. — Temps beau. — Eau à peu près froide dans le convoi.
25,45	15... » =45	1	
21,29	15... » =45	1	
21,33	11... » =35	1	
25,71	17...18 =50,33	$\frac{1}{2}$	La machine est en mauvais état. — Elle a été aidée sur le plan incliné à $\frac{1}{89}$ par une machine à cylindres de 11 pouces. — Temps pluvieux, vent assez fort contre la direction de la machine.
23,68	15... » =45	$\frac{1}{2}$	
24,44	17...18 =50,33	$\frac{1}{2}$	
23,44	17...18,5 =50,5	$\frac{1}{2}$	
24,82	17... » =50	$\frac{1}{2}$	

Expériences sur la vitesse

DATE DE L'EXPÉRIENCE, et désignation de la machine et de sa charge.	PENTE de la route.	CHARGE de la machine rapportée au niveau.
1834		
1er août, VESTA, de Liverpool à Manchester,		tonnes.
en 1h 22′... avec 10 wagons 43t,72	niveau	49
délai 30′ convoi. . . 5t	descente. . $\frac{1}{2094}$	34
1h 52′ 48t,72	descente. . $\frac{1}{849}$	30
VESTA { cylindres. . . 11po $\frac{1}{8}$	montée . . $\frac{1}{2300}$	61
course 16po	montée . . $\frac{1}{4257}$	52
roue 5pi		
poids. 8t71		
frottement . . 187 lb.		
surface de chauffe { foyer 46po,00 / tubes 256,08		
1er août, VESTA, de Manchester à Liverpool,	niveau.	33
en 1h 5′ $\frac{1}{2}$, avec 5 wagons	descente. . $\frac{1}{4257}$	30
chargés et 5 vides 28t,15	descente. . $\frac{1}{2300}$	24
délai » convoi. . . 5t	montée . . $\frac{1}{849}$	47
1h 5′ $\frac{1}{2}$ 33t,15	montée . . $\frac{1}{89}$	165
	montée . . $\frac{1}{2094}$	44
16 août, VESTA, de Manchester à Liverpool,		
en 1h 42′... avec 20 wagons 88t,35	niveau.	94
délais 1h 10′ convoi. . . 5t,50	descente. . $\frac{1}{4257}$	87
2h 52′ 93t,85	descente. . $\frac{1}{2300}$	71
	montée . . $\frac{1}{849}$	129
	montée . . $\frac{1}{2094}$	121

et la charge des machines.

VITESSE en milles par heure.	PRESSION effective dans la chaudière en livres par pouce carré, d'après l'état de la balance.	ÉTAT du régulateur.	OBSERVATIONS.
milles.	lb.		
24	20...21,5 =52	1	La machine a gravi seule le plan incliné à $\frac{1}{96}$ jusqu'à environ 200 pieds du sommet. Elle a été aidée à bras pour le reste de la montée. — Temps calme. — Eau chaude dans le convoi. Le délai de 30 minutes sur la route a été causé par une expérience faite sur la machine.
29,09	20...21 =50	1	
27	20...21 =50	1	
23,56	20...21,5 =52	1	
25,71	20...21 =50	1	
29	20...21 =50	1	La machine a monté le plan incliné à $\frac{1}{96}$ sans renfort.—Temps beau; vent modéré en faveur du mouvement. — Eau très-chaude dans le convoi.
30	20...21 =50	1	
34,74	20...21 =50	1	
28,93	20...21 =50	1	
14,11	20...22,5 =55	1	
28,80	20...21 =50	1	
15	20...21,5 =52	1	La machine a tiré elle-même une partie de son train sur le plan incliné à $\frac{1}{89}$. Le reste a été conduit par une machine de renfort. — Temps beau et calme. — Eau tiède dans le convoi. Les délais qui ont eu lieu dans le voyage ont pour motif plusieurs essais faits avec la machine.
18,46	20...22 =53,25	1	
24	20...22 =53,25	1	
12,10	20...22,5 =55	1	
18,75	20...21,5 =52	1	

Expériences sur la vitesse

DATE DE L'EXPÉRIENCE, et désignation de la machine et de sa charge.	PENTE de la route.	CHARGE de la machine rapportée au niveau.
1834		
16 août, VESTA, de Manchester à Liverpool,		tonnes.
avec 8 wagons 31t,95	montée . . $\frac{1}{89}$	183
convoi. . . 5t,50		
37t,45		
16 août, VESTA, de Manchester à Liverpool,	montée . . $\frac{1}{89}$	189
avec 8 wagons chargés et 4 vides 34t,05		
convoi. . . 5t,00		
39t,05		
15 août, LEEDS, de Liverpool à Manchester,		
en 1h 35', avec 20 wagons 83t,34	niveau	88
délai » convoi. . . 5t	descente. . $\frac{1}{1094}$	64
1h 35' 88t,34	descente. . $\frac{1}{849}$	57
LEEDS { cylindres. . . 11po	montée . . $\frac{1}{1300}$	109
course 16po	montée . . $\frac{1}{4257}$	95
rone 5pi		
poids. 7t,07		
frottement . . 108 lb.		
surface de chauffe { foyer 34pc,57 / tubes 307, 38		

et la charge des machines.

VITESSE en milles par heure.	PRESSION effective dans la chaudière en livres par pouce carré, d'après l'état de la balance.	ÉTAT du régulateur.	OBSERVATIONS.
milles.	lb.		
3,25	20...25,5 =58	1	Temps calme. — Eau tiède dans le convoi. — Ces 8 wagons faisaient partie du train de l'expérience précédente.
5,00	20...23 =56,5	1	Temps beau et calme.
18,26	31...32,75=54,75	$\frac{3}{4}$	La machine a été aidée pour le passage du plan incliné à $\frac{1}{96}$ par une machine de 14 pouces. — Temps calme. — Eau un peu moins que tiède dans le convoi. On n'ouvre pas entièrement le régulateur, parce que la machine est sujette à *primer*, c'est-à-dire à entraîner l'eau de la chaudière avec la vapeur dans le cylindre.
20,72	31...32 =54	$\frac{3}{4}$	
24	31...32 =54	$\frac{3}{4}$	
20,34	31...32 =54	$\frac{3}{4}$	
18,82	31...32 =54	$\frac{3}{4}$	

Expériences sur la vitesse

DATE DE L'EXPÉRIENCE, et désignation de la machine et de sa charge.	PENTE de la route.	CHARGE de la machine rapportée au niveau.
		tonnes.
1834 15 août, LEEDS, de Manchester à Liverpool,	descente. . $\frac{1}{4257}$	37
en $1^h\ 17'\ \frac{1}{2}$ — 1re moitié du chemin. — 8 wagons $34^t,38$	descente. . $\frac{1}{2300}$	30
délai 3' — convoi. . $5^t,50$	montée . . $\frac{1}{848}$	55
$1^h\ 20'\ \frac{1}{2}$ — $39^t,88$	niveau.	35
2e moitié *id.* — 7 wagons $29^t,65$	montée . . $\frac{1}{89}$	168
convoi. . $5^t,50$	montée . . $\frac{1}{2094}$	46
$35^t,15$		
15 août, LEEDS, de Liverpool à Manchester,	niveau.	38
en 1^h 29', avec 7 wagons $33^t,52$	descente. . $\frac{1}{2094}$	27
délai 36' — convoi. . . 5^t	descente. . $\frac{1}{848}$	23
2^h 5' — $38^t,52$	montée . . $\frac{1}{2300}$	48
22 juillet, VULCAN, de Manchest. à Liverpool, avec 9 voitures de 1re classe $34^t,07$	montée . . $\frac{1}{4257}$	41
convoi. . . 5^t		
$39^t,07$	montée . . $\frac{1}{89}$	188
VULCAN — cylindres. . . 11po		
course 16po		
roues. 5pi		
poids. . . . . $8^t,34$		
frottement . . 136 lb.		
surface de chauffe — foyer 34pc45 — tubes 307,38		
22 juillet, VULCAN, de Liverpool à Manchest., avec 9 voitures de 1re classe $36^t,32$	montée . . $\frac{1}{96}$	186
convoi. . . 5^t		
$41^t,32$		

et la charge des machines.

VITESSE en milles par heure.	PRESSION affective dans la chaudière en livres par pouce carré, d'après l'état de la balance.		ÉTAT du régulateur.	OBSERVATIONS.
milles.		lb.		
24,54	28...30	=51,5	$\frac{3}{4}$	La machine a gravi seule le plan incliné à $\frac{1}{39}$. — Temps beau et calme. — Eau très-chaude dans le convoi.
30	25...27	=46,5	$\frac{3}{4}$	
25,31	25...27	=46,5	$\frac{3}{4}$	
22,50	25...27	=46,5	$\frac{3}{4}$	
10	28...29	=48,5	1	
25,71	28...32	=54	$\frac{3}{4}$	
21,81	25...28	=47,5	$\frac{3}{4}$	La machine, gravissant seule le plan incliné à $\frac{1}{96}$ avec sa charge, s'arrête près du sommet. Pour le reste de la montée, elle est aidée à bras. — Temps beau et calme. — Eau tiède dans le convoi. Le délai qui a eu lieu sur la route a eu pour cause un essai fait avec la machine.
29,09	31...32	=54	$\frac{3}{4}$	
28,96	25...28	=47,5	$\frac{3}{4}$	
21,43	15...16	=29	$\frac{3}{4}$	
18,75	25...27	=46,5	$\frac{3}{4}$	
11,42	51...56	=57,5	1	Temps calme ; eau à peine tiède dans le convoi au départ de Manchester.
18,75	31...36	=57,5	1	Temps beau ; un vent très-léger contre le mouvement de la machine. — Eau froide dans le convoi.

MÊME TABLEAU

Expériences sur la vitesse

DATE DE L'EXPÉRIENCE, et désignation de la machine et de sa charge.	PENTE de la route.	CHARGE de la machine rapportée au niveau.
1834		
14 juillet, ATLAS, de Liverpool à Manchester,		tonneaux.
en 1h31'... avec 25 wagons 120t,76	niveau.	126
délais 19' convoi. . . . 5t,59	descente. . $\frac{1}{2094}$	91
1h50' 126t,35	descente. . $\frac{1}{849}$	81
ATLAS { cylindres. . 30cm,5	montée. . . $\frac{1}{1300}$	157
course. . . 40cm,6	montée. . . $\frac{1}{4157}$	135
roue . . . . 1m,525 { quatre roues couplées.		
poids. . . . 11t,58		
frottement . 68kg		
surface de chauffe { foyer 5mc,301		
tubes 20,240		
16 juillet, ATLAS, de Liverpool à Manchester,		
en 1h 25'... avec 20 wagons 100t,80	niveau.	107
délais 5', convoi. . . 5t,59	descente. . $\frac{1}{2094}$	76
1h 30' 106t,39	descente. . $\frac{1}{849}$	68
	montée. . . $\frac{1}{1300}$	131
	montée. . . $\frac{1}{4157}$	114
17 juillet, ATLAS, de Liverpool à Manchester,		
en 1h 27'... avec 15 wagons 66t,42	niveau.	72
délais 3' convoi. . . 5t,59	descente. . $\frac{1}{2094}$	51
1h 30' 72t,01	descente. . $\frac{1}{894}$	45
	montée. . . $\frac{1}{1300}$	90
	montée. . . $\frac{1}{4157}$	77

EN MESURES FRANÇAISES.

et la charge des machines.

VITESSE au kilomèt. par heure.	PRESSION effective dans la chaudière en kilogr. par centimètre carré, d'après l'état de la balance.	ÉTAT du régulateur.	OBSERVATIONS.
kilomètres.	kilog.		
27,58	57...58 =4,29	$\frac{3}{4}$	La machine a été aidée sur le plan incliné à $\frac{1}{96}$ par 3 machines à cylindres de 27*cm*, 9 de diamètre.—Temps beau et calme. — Eau froide dans le convoi.
34,06	57... » =4,22	$\frac{3}{4}$	
38,17	57...60 =4,43	$\frac{3}{4}$	
30,17	57...59,5 =4,40	$\frac{3}{4}$	
28,79	57...58 =4,29	$\frac{3}{4}$	
24,14	50...51 =3,80	$\frac{3}{4}$	La machine a été aidée sur le plan incliné à $\frac{1}{96}$ par 2 machines, à cylindres de 27*cm*, 9 de diamètre—Temps beau et calme.—Eau un peu tiède dans le convoi.
34,48	50...51 =3,80	$\frac{3}{4}$	
40,34	50...52 =3,87	$\frac{3}{4}$	
36,43	50...51,25=3,82	1	
31,58	50... » =3,72	$\frac{3}{4}$	
32,18	50... » =3,72	$\frac{1}{2}$	La machine a été aidée sur le plan incliné à $\frac{1}{96}$ par une machine à cylindres de 27*cm*, 9 de diamètre.—Dans le train il y avait un essieu de wagon fumant, pour être trop serré. — Temps beau et calme. — Eau très-chaude dans le convoi.
39,48	50...51 =3,80	$\frac{1}{2}$	
42,04	50... » =3,72	$\frac{1}{2}$	
34,61	50...52 =3,87	$\frac{1}{2}$	
33,48	50... » =3,72	$\frac{1}{2}$	

Suite des expériences sur la vitesse

DATE DE L'EXPÉRIENCE, et désignation de la machine et de sa charge.	PENTE de la route.	CHARGE de la machine rapportée au niveau.
1834		tonneaux.
17 juil., ATLAS, de Manchester à Liverpool,	descente. . $\frac{1}{4257}$	26
en 1^h 26'... avec 8 wagons vides et	descente. . $\frac{1}{1300}$	22
3 chargés . . 22t,80	montée . . $\frac{1}{849}$	36
délais 3' convoi 5t,08	montée . . $\frac{1}{89}$	116
1^h 29' 27t,88		
23 juil., ATLAS, de Liverpool à Manchester,		
en 3^h 2'.. avec 40 wagons 192t,97	niveau	199
délais 15' convoi 5t,59	descente. . $\frac{1}{2094}$	144
3^h 17' 198t,56	descente. . $\frac{1}{849}$	129
	montée . . $\frac{1}{1300}$	244
	montée . . $\frac{1}{4257}$	213
23 juil., ATLAS, de Manchester à Liverpool, avec 8 wagons 34t,43	montée . . $\frac{1}{89}$	202
convoi... 5t,59		
40t,02		
31 juil., ATLAS, de Liverpool à Manchester,		
en 1^h 44'... avec 14 wagons 62t,61	niveau	68
délais 52' convoi 5t,08	descente. . $\frac{1}{2094}$	60
2^h 36' 67t,69	descente. . $\frac{1}{849}$	54
	montée . . $\frac{1}{1300}$	97
	montée . . $\frac{1}{4257}$	85

et la charge des machines.

VITESSE en kilomèt. par heure.	PRESSION effective dans la chaudière en kilogr. par centimètre carré, d'après l'état de la balance.	ÉTAT du régulateur.	OBSERVATIONS.
kilomètres.	kilog.		
42,59	50...51 =3,80	$\frac{1}{5}$	La machine a monté seule le plan incliné à $\frac{1}{89}$. — Sur le reste de la route la machine a conduit 2 wagons de plus. — Temps beau et calme. — Eau très-chaude dans le convoi.
50,57	50...50,5 =3,76	$\frac{7}{9}$	
44,94	50...52 =3,87	$\frac{1}{9}$	
24,14	50...53 =3,94	1	
14,85	50...50,5 =3,76	1	La machine a été aidée sur le plan incliné à $\frac{1}{96}$ par 4 machines, 3 à cylindres de 27 *cm*, 9, et une à cylindres de 35 *cm*, 6 de diamètre. — Temps beau et calme. — Eau tiède dans le convoi.
22,72	50... » =3,72	1	
26,08	50... » =3,72	1	
12,87	50...51,75=3,87	1	
94,44	50...51,5 =3,84	1	
9,65	50...52 =3,87	1	Temps calme.
32,18	30... » =2,35	1	La machine a gravi le plan incliné à $\frac{1}{96}$ avec son train en 2 fois. — Temps beau et calme.
35,11	30... » =2,35	1	
37,43	30...30,33=2,39	1	Dans cette expérience, on a varié les pressions à dessein.
31,78	25...27,75=2,18	1	Sur le délai total, il y a eu 26' pour une expérience.
22,78	20...21,5 =1,80	1	

Suite des expériences sur la vitesse

DATE DE L'EXPÉRIENCE, et désignation de la machine et de sa charge.	PENTE de la route.	CHARGE de la machine rapportée au niveau.
		tonneaux.
1834 31 juillet, ATLAS, de Manchester à Liverpool,	niveau.	41
en 1^h 54′,... avec 8 wagons	descente. . $\frac{1}{4257}$	37
chargés et 4 vides 35ᵗ,70	descente. . $\frac{1}{2800}$	29
délai » convoi. . . 5ᵗ,8	montée . . $\frac{1}{849}$	58
1^h 54′ 40ᵗ,78	montée . . $\frac{1}{89}$	206
	montée . . $\frac{1}{1094}$	54
4 août, ATLAS, de Liverpool à Manchester,	niveau.	130
en 1^h 58′ avec 25 wagons 124ᵗ,56	descente. . $\frac{1}{1094}$	93
délais » convoi 5ᵗ,08	descente. . $\frac{1}{849}$	83
1^h 58′ 129ᵗ,64	montée . . $\frac{1}{2800}$	161
	montée . . $\frac{1}{4257}$	139
4 août, ATLAS, de Manchester à Liverpool, avec 9 wagons chargés et 7 vides 39ᵗ,37	montée . . $\frac{1}{89}$	223
convoi. . . 5ᵗ,59		
44ᵗ,96		
24 juillet, FURY, de Liverpool à Manchester,	niveau.	57
en 1^h 30′... avec 10 wagons 51ᵗ,96	descente. . $\frac{1}{1094}$	41
délais » convoi. . . 5ᵗ,08	montée . . $\frac{1}{96}$	248
1^h 30′ 570 4	descente. . $\frac{1}{849}$	35
FURY { cylindres. . . 27ᶜᵐ,9	montée . . $\frac{1}{1800}$	71
FURY { course. . . . 40ᶜᵐ,6	montée . . $\frac{1}{4257}$	61
FURY { roue. 1ᵐ,525		
FURY { poids. 8ᵗ,33		
FURY { frottement. . 49ᵏᵍ		
FURY { surface de chauffe { foyer 3ᵐᵉ,056; tubes 28,557		

et la charge des machines.

VITESSE en kilom. par heure.	PRESSION effective dans la chaudière en kilogr. par centimètre carré, d'après l'état de la balance.	ÉTAT du régulateur.	OBSERVATIONS.
kilomètres.	kilog.		
26,36	20...23 =1,92	1	La machine a gravi le plan incliné à $\frac{1}{89}$ sans renfort. — Temps calme.
31,42	20...20,5 =1,76	1	
37,01	20...20,75=1,78	1	Dans cette expérience, comme dans la précédente, on a baissé la pression à dessein.
25,87	20...20,75=1,78	1	
12,07	47...47,5 =3,58	1	
25,41	20...20,25=1,74	1	
24,14	50... » =3,72	1	La machine a été aidée sur le plan incliné à $\frac{1}{98}$ par 2 machines, l'une à cylindres de 27cm,9, l'autre à cylindres de 35cm, 6 de diamètre. — Temps beau et calme. — Eau froide dans le convoi. On a vu dans les expériences sur le frottement des machines que, ce jour, ATLAS avait un frottement de 87 kilogramm. au lieu de 68 kilogramm.
27,58	50... » =3,72	1	
33,02	50... » =3,72	1	
24,75	50...50,5 =3,76	1	
24,52	50... » =3,72	1	
6,03	57...58,75= 4,34	1	Temps beau et calme.
27,58	31...32 =3,87	$\frac{3}{4}$	La machine a monté le plan incliné sans renfort. — Temps beau et calme. — Eau froide dans le convoi.
28,96	31...32 =3,87	$\frac{3}{4}$	
37,46	32...35 =4,61	1	
35,11	31...32 =3,87	$\frac{3}{4}$	
10,15	31...32,5 =3,91	$\frac{3}{4}$	
34,06	31...32 =3,87	$\frac{3}{4}$	

Suite des expériences sur la vitesse

DATE DE L'EXPÉRIENCE, et désignation de la machine et de sa charge.	PENTE de la route.	CHARGE de la machine rapportée au niveau.
1834		tonneaux.
24 juillet, FURY, de Manchester à Liverpool,	niveau.	50
en 1h35'... avec 8 wagons. 44t,49	descente. . $\frac{1}{4257}$	46
délai » convoi. . . 5t,08	descente. . $\frac{1}{1300}$	36
1h35' 49t,57	montée . . $\frac{1}{849}$	69
	montée . . $\frac{1}{89}$	232
	montée. . . $\frac{1}{1094}$	64
4 août, Fury, de Manchester à Liverpool,	niveau.	39
en 1h15'... avec 8 voitures de 1re classe. . 33t,49	descente. . $\frac{1}{4257}$	35
	descente. . $\frac{1}{1300}$	28
délai 9'	montée . . $\frac{1}{849}$	54
convoi. . . 5t,08	montée . . $\frac{1}{89}$	186
1 24 38t,57	montée . . $\frac{1}{1094}$	51
15 août, FURY, de Manchester à Liverpool,	niveau.	140
avec 28 wagons. . . 134t,81	montée . . $\frac{1}{1094}$	179
convoi. . . 5t,59		
140t,40		

et la charge des machines.

VITESSE en kilom. par heure.	PRESSION effective dans la chaudière en kilogr. par centimètre carré, d'après l'état de la balance.	ÉTAT du régulateur.	OBSERVATIONS.
kilomètres.	kilog.		
28,16	31...32 =3,87	$\frac{3}{4}$	La machine a monté le plan incliné sans renfort.—Temps beau ; un vent latéral assez fort par instants. — Eau froide dans le convoi.
34,48	31...32 =3,87	$\frac{3}{4}$	
35,40	31...32 =3,87	$\frac{3}{4}$	
29,96	31...32 =3,87	$\frac{3}{4}$	
24,14	32...36 =4,71	1	
29,70	31...32 =3,87	$\frac{3}{4}$	
40,23	28...30 =3,69	1	La machine a monté le plan incliné sans renfort. — Temps beau et calme.
41,37	28...31 =3,80	1	
43,35	28...30,25=3,72	1	
39,60	28...30 =3,69	1	
21,45	28...33 =3,87	1	
39,94	28...30 =3,69	1	
17,55	31...32,5 =3,91	1	La machine n'a parcouru que cette partie de la route avec ce train. — Son feu n'était dans toute son activité que sur la dernière partie du trajet; elle y avait en outre l'impulsion provenant de la descente du plan incliné à $\frac{1}{96}$. — Temps beau ; rails mauvais.
21,45	31...32,5 =3,91	1	

Suite des expériences sur la vitesse

DATE DE L'EXPÉRIENCE, et désignation de la machine et de sa charge.	PENTE de la route.	CHARGE de la machine rapportée au niveau.
1834		tonneaux.
26 juillet, FIREFLY, de Liverpool à Manchester,	niveau.	42
en $1^h35'$... avec 8 wagons	descente. . $\frac{1}{843}$	25
de 1re classe . . 36t,97	montée. . . $\frac{1}{1300}$	53
délai 5' convoi. . . . 5t,08	montée. . . $\frac{1}{4257}$	46
$1^h40'$ 42t,05		
FIREFLY { cylindres. . 27cm,9		
course. . . 45cm,7		
roue 1m,525		
poids. . . . 8t,88		
frottement . 54kg		
surface de chauffe { foyer 4mc,078		
tubes 33,685		
26 juillet, FIREFLY, de Manchester à Liverpool,	niveau.	42
en 1^h 18'... avec 8 wagons	descente. . $\frac{1}{4957}$	38
de 1re classe. . . 36t,97	descente. . $\frac{1}{1300}$	31
délai 5', convoi. . . 5t,08	montée. . . $\frac{1}{843}$	59
1^h 23' 42t,05	montée. . . $\frac{1}{1094}$	55

et la charge des machines.

VITESSE en kilom. par heure.	PRESSION effective dans la chaudière en kilogram. par centimètre carré, d'après l'état de la balance.	ÉTAT du régulateur.	OBSERVATIONS.
kilomètres.	kilog.		
38,62	17... » =3,51	1	La machine est en mauvais état et va entrer en réparation. — Elle a été aidée sur le plan incliné à $\frac{1}{96}$ par une machine à cylindres de 27cm,9 de diamètre. — Temps beau. — Eau à peu près froide dans le convoi.
40,95	15... » =3,16	1	
34,26	15... » =3,16	1	
34,32	11... » =2,46	1	
41,37	17...18 =3,53	$\frac{1}{2}$	La machine est en mauvais état. — Elle a été aidée sur le plan incliné à $\frac{1}{89}$ par une machine à cylindres de 27cm, 9 de diamètre. — Temps pluvieux, vent assez fort contre la direction de la machine.
38,10	15... » =3,16	$\frac{1}{2}$	
39,52	17...18 =3,53	$\frac{1}{2}$	
37,71	17...18,5 =3,55	$\frac{1}{2}$	
39,94	17... » =3,51	$\frac{1}{2}$	

Suite des expériences sur la vitesse

DATE DE L'EXPÉRIENCE, et désignation de la machine et de sa charge.	PENTE de la route.	CHARGE de la machine rapportée au niveau.
1834		tonneaux.
1er août, VESTA, de Liverpool à Manchester,	niveau.	50
en 1h 22'... avec 10 wagons 44t,40	descente. . $\frac{1}{1094}$	34
délais 30' convoi. . . . 5t,08	descente. . $\frac{1}{849}$	30
1h 52' 49t,48	montée . . $\frac{1}{1300}$	62
VESTA { cylindres. . . 28cm,3	montée . . $\frac{1}{4257}$	53
course 40cm,6		
roue 1m,525		
poids. 8t,85		
frottement. . 84kg		
surface de chauffe { foyer 4mc,273 / tubes 23 ,789		
1er août, VESTA, de Manchester à Liverpool,	niveau.	34
en 1h 5'½... avec 25 wagons	descente. . $\frac{1}{4257}$	30
chargés et 5 vides 28t,59	descente. . $\frac{1}{1300}$	24
délai » convoi. . . 5t,08	montée . . $\frac{1}{849}$	48
1h 5' ½ 33t,67	montée . . $\frac{1}{89}$	168
	montée . . $\frac{1}{1094}$	45
16 août, VESTA, de Manchester à Liverpool,	niveau.	95
en 1h 42'... avec 20 wagons 89t,73	descente. . $\frac{1}{4257}$	88
délais 1h 10'... convoi. . . 5t59	descente. . $\frac{1}{1300}$	72
2h 52' 95t,32	montée. . . $\frac{1}{849}$	131
	montée. . . $\frac{1}{1094}$	125

et la charge des machines.

VITESSE en kilom. par heure.	PRESSION effective dans la chaudière en kilogr. par centimètre carré, d'après l'état de la balance.	ÉTAT du régulateur.	OBSERVATIONS.
kilomètres.	kilog.		
38,62	20...21,5 =3,65	1	La machine a gravi seule le plan incliné à $\frac{1}{96}$ jusqu'à environ 60 mètres du sommet. Elle a été aidée à bras pour le reste de la montée. — Temps calme. — Eau chaude dans le convoi. Le délai de 30 minutes sur la route a été causé par une expérience faite sur la machine.
46,81	20...21 =3,51	1	
43,44	20...21 =3,51	1	
37,91	20...21,5 =3,65	1	
38,15	20...21 =3,51	1	
46,66	20...21 =3,51	1	La machine a monté le plan incliné à $\frac{1}{89}$ sans renfort. — Temps beau; vent modéré en faveur du mouvement. — Eau très-chaude dans le convoi.
48,27	20...21 =3,51	1	
55.90	20...21 =3,51	1	
46,55	20...21 =3,51	1	
22,70	20...22,5 =3,87	1	
46,34	20...21 =3,51	1	
24,14	20...21,5 =3,65	1	
29,70	20...22 =3,74	1	La machine a tiré elle-même une partie de son train sur le plan incliné à $\frac{1}{89}$. Le reste a été conduit par une machine de renfort. — Temps beau et calme. — Eau tiède dans le convoi. Les délais qui ont eu lieu dans le voyage ont pour motif plusieurs essais faits avec la machine.
38,62	20...22 =3,74	1	
19,47	20...22,5 =3,87	1	
30,17	20...21,5 =3,65	1	

Suite des expériences sur la vitesse

DATE DE L'EXPÉRIENCE, et désignation de la machine et de sa charge.	PENTE de la route.	CHARGE de la machine rapportée au niveau.
1834		tonneaux.
16 août, VESTA, de Manchester à Liverpool, avec 8 wagons 32t,45 convoi. . . 5t,59 — 38t,04	montée . . $\frac{1}{89}$	186
15 août, VESTA, de Manchester à Liverpool, avec 8 wagons chargés et 4 vides 34t,58 convoi. . . . . 5t,08 — 39t,66	montée . . $\frac{1}{89}$	192
15 aout, LEEDS, de Liverpool à Manchester, en 1h 35′... avec 20 wagons. 84t,64 délai » convoi . . . . 5t,08 — 1h 35′ 89t,72	niveau.	90
	descente. . $\frac{1}{1094}$	65
	descente. . $\frac{1}{849}$	58
LEEDS: cylindres. . . 27cm,9	montée . . $\frac{1}{1300}$	111
LEEDS: course 40cm,6	montée . . $\frac{1}{4257}$	96
LEEDS: roues. 1m,525		
LEEDS: poids. 7t,18		
LEEDS: frottement . . 49kg		
LEEDS: surface de chauffe: foyer 3mc,214; tubes 28,557		
15 août, LEEDS, de Manchester à Liverpool, en 1h 17′ $\frac{1}{2}$ délai 3′ — 1h 20′ $\frac{1}{2}$ avec: 1re moitié du de la route. 8 wagons 34t,92 convoi. . 5t,59 — 40t,51	descente. . $\frac{1}{4257}$	37
	descente. . $\frac{1}{1300}$	30
	montée . . $\frac{1}{849}$	56
avec: 2e moitié *id.* 7 wagons 30t,11 convoi. . 5t,59 — 35t,70	niveau.	36
	montée . . $\frac{1}{89}$	171
	montée . . $\frac{1}{1094}$	47

et la charge des machines.

VITESSE en kilomèt. par heure.	PRESSION effective dans la chaudière en kilogr. par centimètre carré, d'après l'état de la balance.	ÉTAT du régulateur.	OBSERVATIONS.
kilomètres.	kilog.		
5,23	20...23,5 = 4,08	1	Temps calme. — Eau tiède dans le convoi. — Ces 8 wagons faisaient partie du train de l'expérience précédente.
4,83	20...23 = 3,98	1	Temps beau et calme.
29,38	31...32,75 = 3,85	$\frac{3}{4}$	La machine a été aidée pour le passage du plan incliné à $\frac{1}{96}$ par une machine à cylindres de 35*cm*,6. — Temps calme. Eau un peu moins que tiède dans le convoi. On n'ouvre pas entièrement le régulateur parce que la machine est sujette à *primer*, c'est-à-dire à entraîner l'eau de la chaudière avec la vapeur dans le cylindre.
33,34	31...32 = 3,80	$\frac{3}{4}$	
38,62	31...32 = 3,80	$\frac{3}{4}$	
32,73	31...32 = 3,80	$\frac{3}{4}$	
30,28	31...32 = 3,80	$\frac{3}{4}$	
39,48	28...30 = 3,62	$\frac{3}{4}$	La machine a gravi seule le plan incliné à $\frac{1}{89}$. — Temps beau et calme. — Eau très-chaude dans le convoi.
48,27	25...27 = 3,27	$\frac{3}{4}$	
40,72	25...27 = 3,27	$\frac{3}{4}$	
36,20	25...27 = 3,27	$\frac{3}{4}$	
16,09	28...29 = 3,41	1	
41,37	28...32 = 3,80	$\frac{3}{4}$	

Suite des expériences sur la vitesse

DATE DE L'EXPÉRIENCE, et désignation de la machine et de sa charge.	PENTE de la route.	CHARGE de la machine rapportée au niveau.
1834		tonneaux.
15 août, LEEDS, de Liverpool à Manchester,	niveau	39
en 1h 29′... avec 7 wagons 34t,04	descente. . $\frac{1}{2094}$	27
délais 30′ convoi. . . 5t,08	descente. . $\frac{1}{849}$	23
2h 5′ 39t,12	montée . . $\frac{1}{1300}$	49
	montée . . $\frac{1}{4257}$	42
22 juillet, VULCAN, de Manchester à Liverpool, avec 9 voitures de 1re classe 34t,60 convoi. . . 5t,08 39t,68	montée . . $\frac{1}{89}$	191
VULCAN { cylindres. . . 27cm,9; course . . . . 40cm,6; roue . . . . . 1m,525; poids. . . . . 8t,47; frottement . . 61kg; surface de chauffe { foyer 3mc,205; tubes 28,557		
22 juillet, VULCAN, de Liverpool à Manchester, avec 9 voitures de 1re classe 36t,89 convoi. . . 5t,08 41t,97	montée . . $\frac{1}{96}$	189

et la charge des machines.

VITESSE en kilom. par heure.	PRESSION effective dans la chaudière en kilogr. par centimètre carré, d'après l'état de la balance.		ÉTAT du régulateur.	OBSERVATIONS.
kilomètres.		kilog.		
35,09	25...28	=3,34	$\frac{3}{4}$	La machine gravissant seule le plan incliné à $\frac{1}{96}$ avec sa charge, s'arrêta près du sommet. Pour le reste de la montée elle est aidée à bras. — Temps beau et calme. Eau tiède dans le convoi.
46,81	31...32	=3,80	$\frac{3}{4}$	
46,60	25...28	=3,34	$\frac{3}{4}$	
34,48	15...16	=2,04	$\frac{3}{4}$	Le délai qui a eu lieu sur la route a eu pour cause un essai fait avec la machine.
30,17	25...27	=3,27	$\frac{3}{4}$	
18,37	31...36	=4,05	1	Temps calme. — Eau à peine tiède dans le convoi au départ de Manchester.
30,17	31...36	=4,05	1	Temps beau; un vent très-léger contre le mouvement de la machine. — Eau froide dans le convoi.

Ces expériences montrent mieux que tous les raisonnements possibles ce qu'on doit attendre des machines locomotives dans un service journalier. C'est pourquoi nous les avons toutes réunies ici.

On remarquera leur coïncidence avec la table des vitesses déduite du calcul.

§ 7. *De la vitesse du plus grand effet utile.*

Nous avons trouvé plus haut (chap. V, art. V, § 2) que la charge que peut conduire une machine à une vitesse donnée a pour expression :

$$M = \frac{mSPD - \rho d^2 l V}{(\delta + n) VD} - \frac{F}{\delta + n}.$$

Si nous multiplions les deux membres de cette équation par V, il vient

$$MV = \frac{mSPD - \rho d^2 l V}{(\delta + n) D} - \frac{FV}{\delta + n}.$$

Le produit MV, de la charge par la vitesse à laquelle cette charge est conduite, représente l'effet utile produit par la machine. On voit donc ici que cet effet utile sera d'autant plus grand que la vitesse sera plus petite; car, dans le second membre, cette vitesse n'entre que dans des termes négatifs. Comme d'autre part la machine ne peut, sans perte matérielle de vapeur, marcher à une moindre vitesse que celle qui correspond à la vitesse de formation de la vapeur dans la chaudière, il s'ensuit

que c'est à cette vitesse qu'aura lieu le *maximum* d'effet utile.

En examinant les tableaux ci-dessus sous le même point de vue, on reconnaît par expérience, comme on vient de le prouver par le calcul, que le plus grand effet utile est produit à la moindre vitesse.

Ainsi, prenons, par exemple, une machine de 11 pouces, travaillant 10 heures par jour. A sa plus grande vitesse de 30 milles par heure, pour 50 lb. de pression effective par pouce dans la chaudière, elle pourra tirer jusqu'à 50 tonnes, et à sa moindre vitesse, pour une égale pression dans la chaudière, elle pourra tirer 160 tonnes

En conduisant des trains de 50 tonnes à la vitesse de 30 milles par heure, dans ses 10 heures de travail elle aura conduit 50 tonnes à 300 milles, ou, ce qui revient au même,

15,000 tonnes à 1 mille.

En conduisant des trains de 160 tonnes à la vitesse de 15^{mil}, 5 par heure, elle auriat dans le même temps conduit 160 tonnes à 155 milles, transport équivalent à

24,800 tonnes à 1 mille.

Il y a donc un avantage considérable à faire, quand on le peut, travailler les machines avec les plus grandes charges possibles qui correspondent aux moindres vitesses. On doit remarquer que la

différence entre les deux effets serait encore plus grande si, de chaque charge, on avait déduit le convoi d'approvisionnement, comme faisant, sous le rapport de l'effet utile, partie de la machine, et non de son train.

Il est à peine nécessaire d'ajouter que, quand la vitesse devient la condition expresse du transport, comme lorsqu'il s'agit du transport des voyageurs, ces considérations ne peuvent s'appliquer. Nous ne parlons ici que théoriquement.

La différence, que nous venons de trouver dans l'effet utile produit, tient à ce que, dans les deux cas, la résistance propre de la machine est restée la même, et, dans le premier cas, cette machine a dû être tirée à une distance de 300 milles, et dans le second à une distance de 155 milles seulement. Il en est de même encore de la pression atmosphérique, qui forme une partie de la résistance sur le piston. La machine ayant parcouru dans une circonstance double distance que dans l'autre, il a fallu qu'elle donnât un double nombre de coups de piston; et comme à chacun de ces coups de piston la pression atmosphérique doit être vaincue, on voit que la dépense de force motrice, nécessaire pour surmonter la résistance de l'atmosphère, est en raison des nombres 300 et 155; c'est-à-dire que cette force est, aussi bien que celle qui est nécessaire pour mouvoir la machine, en raison des vitesses du transport. C'est une preuve nouvelle qu'en calculant les effets de ces machines on

ne peut, comme on le fait ordinairement, négliger en toute circonstance la pression atmosphérique, et que ce n'est que dans les cas où la vitesse n'entre pour rien, que cette simplification peut se faire sans erreur.

Si l'on trouve quelquefois des calculs de force de locomotives ou de toute autre espèce de machines à vapeur, où il y a ce qu'on appelle *pouvoir perdu*, c'est-à-dire des calculs d'après lesquels il semblerait que ces machines ne produisent dans la pratique que le tiers ou même le quart de ce qu'on nomme leur force *théorique;* si cette différence entre la pratique et la théorie a fini par s'établir comme une règle qu'on exprime généralement en disant que les *chevaux pratiques* ne sont que le tiers des *chevaux théoriques*, c'est simplement que cette prétendue force théorique est mal calculée. C'est qu'on néglige d'y faire entrer en compte toutes les circonstances diverses dont nous nous sommes occupés plus haut. C'est qu'on déduit avant tout calcul la pression atmosphérique, qu'on omet la résistance propre de la machine ou son accroissement en raison de la charge, et surtout qu'on calcule la pression sur le piston comme étant égale à celle de la chaudière, tandis qu'elle en est si différente, comme nous l'avons vu. Avec toutes ces causes d'erreur, il n'est pas surprenant qu'on arrive à des résultats en contradiction avec l'expérience, ou en d'autres termes, qu'on fasse très-bien des ma-

chines et que cependant on ne puisse calculer leur force ou leurs effets. Mais qu'on tienne compte de toutes les résistances réellement vaincues et de la vitesse de leurs points d'application, qu'on prenne la pression dans le cylindre telle qu'elle est, au lieu de compter comme appliqué un pouvoir qui ne l'est pas, et l'on arrivera à ce résultat remarquable, applicable du reste à toute espèce de machines à vapeur, que la totalité du pouvoir appliqué se retrouve dans l'effet produit, et qu'il n'y en a pas une livre dont on ne puisse indiquer l'emploi.

CHAPITRE SIXIÈME.

DE QUELQUES DISPOSITIONS ACCESSOIRES, ET DU CHANGEMENT QUI EN RÉSULTE DANS L'EFFET PRODUIT PAR LA MACHINE.

—

ARTICLE PREMIER.

DU RÉGULATEUR.

§ 1. *Des effets de l'ouverture du régulateur.*

Il reste à considérer trois circonstances accessoires qui ont une influence sensible sur l'effet des machines locomotives. Ces circonstances sont : l'ouverture du régulateur, celle de l'orifice de sortie de la vapeur dans la cheminée, et enfin l'avance du tiroir.

On a dit que le conduit qui mène de la chaudière aux cylindres peut être fermé soit en entier, soit partiellement, par le moyen d'un robinet ou régulateur. Quand ce régulateur est entièrement ouvert, la vapeur passe dans le cylindre aussi librement que le permet l'aire du tuyau qu'elle doit

suivre dans ce trajet. Ainsi, la vitesse est aussi grande qu'elle peut l'être avec les autres circonstances de la formation de la vapeur. Si ue, moyen du régulateur, on réduit un peu l'entrée du passage, la vapeur y pourra d'abord prendre une plus grande vitesse, et ce surplus de vitesse pourra permettre, comme auparavant, l'écoulement de la totalité de la vapeur formée. Dans ce cas, tout se passera comme dans le précédent, et tant que le passage restera en proportion suffisante avec la production de la vapeur, il n'y aura aucune diminution dans l'effet de la machine.

Cependant, en continuant de fermer toujours davantage le conduit, on arrivera nécessairement à un point où le passage sera tellement étroit, qu'il formera un obstacle matériel à l'admission de la vapeur. Dès ce moment, il n'y aura plus qu'une portion de la vapeur formée dans la chaudière qui pourra se rendre dans les cylindres, et par conséquent l'effet produit se trouvera réduit dans la même proportion.

Comme nous avons appelé force de vaporisation *effective* la masse de vapeur que la machine peut faire parvenir jusqu'aux cylindres dans l'unité de temps, on voit clairement que le mouvement donné au régulateur revient strictement à diminuer la force de vaporisation *effective* de la machine, et alors la formule du mouvement, telle que nous l'avons donnée plus haut, indique d'elle-même la cause de la diminution d'effet.

Aussi trouve-t-on que le même train sera conduit par la même machine à des vitesses différentes, selon le degré d'ouverture du régulateur. C'est le moyen invariablement employé sur le railway de Liverpool pour empêcher les trains légers d'être entraînés plus rapidement que la conservation des machines, des voitures et du railway ne le permet. Cette manière de régler la vitesse a cela d'avantageux que, s'il se présente sur la route une légère pente ou un obstacle quelconque, on peut, en ouvrant le régulateur et poussant le feu en même temps, rendre à la machine la totalité de sa force, et la mettre en état de passer l'obstacle sans réduction de vitesse.

L'état du régulateur est donc une chose nécessaire à considérer, quand on veut mesurer l'effet d'une machine. C'est pourquoi nous en avons tenu note dans les expériences rapportées plus haut Nous aurions désiré que ce régulateur tournât sur un cercle gradué, afin de pouvoir mesurer exactement ses effets; mais, d'après la construction actuelle de ces machines, on ne peut que juger à vue l'ouverture du régulateur.

§ 2. *Des passages de la vapeur.*

En portant plus loin encore le même principe sur la liberté du mouvement de la vapeur, on voit qu'entre deux machines, en tout pareilles du reste, il doit y avoir un avantage en faveur de

celle dans laquelle les conduits de la vapeur auront une aire plus considérable. Cependant, il est clair que, dès qu'on est arrivé à un diamètre suffisant pour le passage de toute la vapeur que peut former la chaudière aux plus grandes vitesses auxquelles on veut faire marcher la machine, on ne peut plus rien gagner en augmentant ensuite ce diamètre. C'est par le même motif que nous avons vu tout à l'heure qu'on peut réduire ce passage d'une certaine quantité sans perte d'effet, *ce qui tient à ce que l'ouverture était originairement plus large qu'il n'était nécessaire.*

L'expérience a fixé le diamètre à donner aux passages de la vapeur, et avertirait promptement si l'on s'en écartait : car s'il arrivait, par exemple, qu'une machine, en courant à toute sa vitesse, émît encore de la vapeur à sa soupape de sûreté, ce serait une preuve que l'aire du passage est trop petite pour la production de vapeur dont est capable la chaudière.

§ 3. *Tableau des dimensions des passages de la vapeur dans quelques-unes des machines du railway de Liverpool à Manchester.*

Il y a donc un point convenable, en harmonie avec la force de vaporisation de la machine, ou les dimensions de la chaudière. C'est pourquoi nous donnons ici le diamètre des conduits de la vapeur dans les machines que nous venons de soumettre à l'expérience, et dans quelques autres dont les di-

mensions ont été données au commencement de cet ouvrage. Les passages de la vapeur considérés ici sont ceux qui conduisent séparément de la chaudière à chaque boîte à tiroirs. Ceux qui mènent ensuite de cette boîte à l'intérieur des cylindres ont une surface correspondante, quoique d'une forme différente. Leurs dimensions seront, par exemple, d'un pouce de large sur 7 de longueur, ce qui offre la même surface qu'un tube de 3 pouces de diamètre.

Passages de la vapeur dans quelques-unes des machines du railway de Liverpool à Manchester.

NOM de la machine et numéro de sa construction.	Diamètre du cylindre.	Course du piston.	SURFACE DE CHAUFFE exposée à l'action du calorique rayonnant.	SURFACE DE CHAUFFE exposée à l'action de la chaleur de communic.	Diamètre intérieur des passages de la vapeur	OBSERVATIONS.
	pouces.	pouces.	pieds car.	pieds car.	pouces.	
SAMSON, nº 13	14	16	40,20	416,90	3,25	On refait en ce moment cette machine, et l'on donne aux passages de la vapeur 4 pouces de diamètre.
GOLIATH, nº 15	14	16	40,31	407,00	3,25	
ATLAS, nº 23	12	16	57,06	217,88	3,25	
VULCAN, nº 19	11	16	34,45	307,38	3,50	
FURY, nº 21	11	16	32,87	307,38	3,50	
VESTA, nº 24	11 $\frac{5}{8}$	16	46,00	256,08	3,25	
LEEDS, nº 30	11	16	34,57	307,38	3,50	
FIREFLY, nº 31	11	18	43,91	362,60	3,00	

MÊME TABLEAU EN MESURES FRANÇAISES.

NOM de la machine et numéro de sa construction.	Diamètre du cylindre.	Course du piston.	SURFACE DE CHAUFFE exposée à l'action du calorique rayonnant.	SURFACE DE CHAUFFE exposée à l'action de la chaleur de communic.	Diamètre intérieur des passages de la vapeur	OBSERVATIONS.
	centimèt.	centimèt.	mèt. car.	mèt. car.	centimèt.	
SAMSON, nº 13	35,6	40,6	3,735	38,729	8,3	On refait en ce moment cette machine et l'on donne aux passage de la vapeur 10,2 centimètres de diamètre.
GOLIATH, nº 15	35,6	40,6	3,744	37,809	8,3	
ATLAS, nº 23	30,5	40,6	5,301	20,240	8,3	
VULCAN, nº 19	27,9	40,6	3,205	28,557	8,9	
FURY, nº 21	27,9	40,6	3,056	28,557	8,9	
VESTA, nº 24	28,3	40,6	4,273	23,789	8,3	
LEEDS, nº 30	27,9	40,6	3,214	28,557	8,9	
FIREFLY, nº 31	27,9	45,7	4,078	33,685	7,6	

ARTICLE II.

De l'orifice de sortie de la vapeur dans la cheminée.

Nous avons dit, en faisant la description de la machine, que la vapeur, après avoir produit son effet dans le cylindre, est conduite dans la cheminée. Elle y est lancée, en forme de jet, par un orifice rétréci tourné vers le haut, placé au milieu du conduit et dont la disposition est représentée figure 5.

A chaque jet de vapeur, celle-ci, chassant devant elle la colonne d'air qui remplissait le conduit de la cheminée, laisse derrière elle un vide. Ce vide est nécessairement comblé aussitôt par une masse d'air extérieur, qui se précipité au travers du foyer pour aller remplir l'espace où le vide a été fait. Aussi, à chaque aspiration ainsi produite, voit-on le combustible que contient le foyer devenir blanc d'incandescence.

C'est un effet analogue à celui d'un soufflet qui animerait constamment le feu; et le courant artificiel créé dans le foyer par ce moyen est d'une telle efficacité pour l'usage de la machine, que si la tuyère de sortie se trouve rompue, corrodée ou entr'ouverte, la machine devient à peu près inutile; ce qui prouve que le courant dû au tirage ordinaire de la cheminée n'est que peu de chose en comparaison.

On conçoit que plus l'orifice de sortie est rétréci, plus le courant qui s'en échappe est violent et plus il a d'effet pour attiser le feu. Il en résulte, par conséquent, une plus grande production de vapeur dans le même temps, ou un accroissement de pouvoir dans la machine. C'est donc un point important à noter dans une machine quand on en donne les effets, puisque si l'on change le diamètre de cet orifice, on changera le pouvoir de vaporisation de la chaudière.

Dans les machines qui ont servi aux expériences ci-dessus, le diamètre du bout de la tuyère était de 2 $\frac{1}{4}$ pouces à 2 $\frac{1}{2}$ pouces, ce qui est leur mesure ordinaire. Il faut pourtant excepter la machine *Leeds*, qui avait une tuyère de 2 $\frac{3}{16}$ pouces seulement. Quant à la machine *Atlas*, elle en avait une de 3 pouces moins $\frac{1}{16}$ dans toutes les expériences, hors dans celle du 4 août. Dans celle-ci l'orifice de sortie de la vapeur avait été porté à 3 pouces $\frac{1}{16}$, dans le dessein d'observer quelle réduction en résulterait dans l'effet de la machine. En comparant cette expérience aux autres de la même machine, la diminution de vitesse paraît avoir été à peu près dans le rapport de 15 à 17. L'effet produit serait donc dans la proportion inverse des carrés du diamètre de la tuyère, ou, si l'on veut, des aires de l'orifice, c'est-à-dire en raison directe des vitesses de sortie de la vapeur.

En mesures françaises, l'orifice de sortie de la vapeur dans la cheminée est en général dans toutes

les machines de 57 à 64 millimètres. Il faut excepter la machine *Leeds*, qui avait une tuyère de 56 millimètres, et *Atlas* qui en avait une de 75 millimètres, hors dans les expériences du 4 août, où son diamètre avait été porté à 78 millimètres.

C'est donc à ces dimensions qu'il faut rapporter, comme à l'un des éléments de production, la vaporisation effectuée par ces machines.

La dimension généralement adoptée de $2^{po}\frac{1}{4}$ à $2^{po}\frac{1}{2}$ de diamètre pour l'orifice de sortie de la vapeur a été fixée par l'expérience sur le railway. On a cherché à diminuer l'ouverture autant que possible, sans toutefois arriver au point de mettre matériellement obstacle à la sortie de la vapeur; c'est-à-dire qu'on a rétréci la tuyère tant qu'on a vu l'effet s'augmenter, et qu'on s'est arrêté dès qu'on a reconnu qu'il cessait d'y avoir gain de pouvoir.

Avec un orifice de sortie de $2\frac{1}{2}$ pouces de diamètre ou 5 pouces carrés d'aire, et des cylindres de 11 pouces de diamètre ou 190 pouces carrés d'aire totale, c'est-à-dire avec un orifice de sortie qui n'est que le $\frac{1}{38}$ de l'aire des cylindres, on voit qu'afin que toute la vapeur puisse sortir par cette issue, il faut que sa vitesse, en passant au travers de l'orifice, soit 38 fois ce qu'elle est dans le cylindre.

La vitesse du jet formé dans la cheminée sera donc, pour les dimensions que nous considérons, égale à 38 fois la vitesse du piston, ou si l'on veut, égale à $6\frac{1}{2}$ fois la vitesse de la machine, puisque

la vitesse de ces machines est à peu près 6 fois celle du piston.

Ainsi, le pouvoir de ce moyen accessoire sera d'autant plus grand que la vélocité de la machine sera plus considérable. Si, par exemple, elle marche à 30 milles par heure, la vitesse du jet sera 195 milles par heure ou 286 pieds par seconde; et comme cette vitesse ne peut être produite par la seule tendance de la vapeur à s'échapper dans l'atmosphère, il faut à ces grandes vitesses qu'une partie du pouvoir de la machine elle-même soit consommé à expulser la vapeur, c'est-à-dire à souffler le feu dans le foyer. C'est pourquoi, ne créant le surplus d'effet que par un sacrifice dans le pouvoir, on devait naturellement arriver à un point où ce qu'on gagnait se trouvait compensé par la dépense de pouvoir que ce gain nécessitait, et alors on cessait d'obtenir un avantage en poussant le principe plus loin. C'est ce qui explique le point déterminé plus haut par la pratique, comme limite de l'étrécissement.

ARTICLE III.

DE L'AVANCE DU TIROIR.

§ 1. *De la nature et des effets de l'avance du tiroir.*

La troisième circonstance dont nous avons à parler est l'avance du tiroir.

Nous avons dit, en décrivant les diverses parties

de la machine, que c'est le tiroir qui ouvre et ferme successivement les passages en dessus et en dessous du piston, de manière à appliquer l'effort de la vapeur alternativement d'un côté et de l'autre. Si la machine était réglée comme il paraît naturel de le faire, ce tiroir tiendrait le passage ouvert à la vapeur, jusqu'à ce que ce piston fût arrivé au fond du cylindre. En cet instant se ferait le changement. Le premier passage serait fermé, et le passage opposé serait ouvert. Alors le mouvement du tiroir accompagnerait exactement celui du piston. Leurs alternations seraient strictement simultanées.

Mais il n'en est pas ainsi; on a trouvé, par expérience, que la machine est susceptible d'acquérir une plus grande vitesse quand le mouvement du tiroir précède un peu celui du piston, c'est-à-dire quand il ouvre les passages à la vapeur un peu avant l'instant nécessaire. Lorsque la machine est ainsi réglée, on voit que, dans le moment que le piston va commencer une nouvelle course, les passages convenables, au lieu de commencer à s'ouvrir, le sont déjà d'une certaine quantité. C'est cette quantité d'ouverture prématurée qu'on appelle l'*avance du tiroir*, parce qu'elle indique de combien le mouvement du tiroir précède celui du piston. En effet, on conçoit que, si le retour du tiroir est en avance d'un quart de pouce, par exemple, sur celui du piston, les passages de la vapeur se trouveront ouverts d'un quart de pouce quand

le piston touchera encore le fond du cylindre.

Quels sont les effets de cette disposition, d'abord sur la vitesse et ensuite sur la charge, c'est ce que nous nous proposons d'examiner ici.

On explique ordinairement l'accroissement de vitesse qu'acquiert la machine quand elle a un peu d'*avance* de tiroir, en disant que, par cette disposition, la vapeur se trouve prête à agir sur le piston au moment même que celui-ci commence sa course. Mais il n'est pas difficile de voir que, si cette vapeur agit plus promptement au commencement de la course, elle est d'autre part interceptée plus tôt aussi à la fin de cette course. On ne fait donc, sous ce rapport, qu'ajouter d'un côté ce qu'on retranche de l'autre. Ainsi, cette explication n'est nullement satisfaisante.

Mais la manière dont nous avons établi le calcul de la vitesse des machines nous donne immédiatement l'explication de ce fait.

Si le changement des passages de la vapeur, au lieu de se faire juste à la fin de la course du piston, se fait, nous supposons, dans l'instant où ce piston est à un pouce du fond, dès ce moment il cesse d'arriver de la vapeur dans le cylindre. En effet, d'un côté le passage est fermé, et de l'autre il est ouvert, il est vrai; mais le piston, qui doit nécessairement achever sa course, tient cette vapeur refoulée dans les conduits, d'où elle ne peut sortir que quand le piston prend sa direction rétrograde. Ainsi, sous le rapport de la quantité de

vapeur admise dans le cylindre à chaque coup de piston, la course de ce piston est réellement diminuée d'un pouce. Nous avons vu que, pour avoir la vitesse du piston, il faut diviser la masse de vapeur produite dans la chaudière par l'aire des cylindres (chap. V, art. V, § 1); le quotient nous donne la vitesse à laquelle ce volume de vapeur doit nécessairement traverser les cylindres, ou la vitesse du piston. Ce sera effectivement la vitesse cherchée, si le passage de la vapeur se fait sans interruption; mais si, comme c'est ici le cas, il y a à chaque course une suspension de l'écoulement de cette vapeur, il est évident que la même quantité de vapeur formée par la chaudière ne pourra se dépenser par les cylindres que par une plus grande vélocité du mouvement. C'est la production de vapeur dans la chaudière qui règle et limite la vitesse; cette production fournissait, je suppose, par minute m cylindres pleins de vapeur, lorsque la longueur totale l du cylindre se remplissait de vapeur: maintenant il ne s'en remplit plus que la longueur $l - c$; donc la même vapeur remplira par minute un nombre de cylindres exprimé par $m \times \frac{l}{l-c}$. Donc, enfin, la vitesse du piston sera accrue dans le rapport inverse des longueurs de cylindres qui se remplissent de vapeur.

On voit pourquoi l'avance du tiroir est favorable à la vitesse. Mais s'il y a gain sous ce rapport,

nous allons voir qu'il y a perte sous celui de la charge que peut tirer la machine.

Supposons que la ligne ED (figure 25) représente la course du piston, et que la course se fasse dans la direction marquée par la flèche. Comme nous allons voir plus loin que le passage est fermé d'un côté du piston un peu avant qu'il n'est ouvert de l'autre, soit A le point où se trouve le piston quand l'arrivée de la vapeur du côté E est interceptée; et soit C le point où il se trouve quand le tiroir commence à admettre la vapeur sur le côté opposé, c'est-à-dire du côté D.

Il est clair que dans l'instant que le piston parvient au point A, on supprime la force motrice qui produisait le mouvement. De plus, quand ce piston, continuant sa course en vertu de sa vitesse précédemment acquise, arrive au point C, non-seulement il a cessé de recevoir aucune impulsion dans le sens du mouvement, mais il éprouve une opposition de la part de la vapeur admise en sens contraire. Cependant le piston ne peut s'arrêter. Il faut qu'il finisse sa course. Il faut donc qu'il repousse cette nouvelle vapeur qui lui fait obstacle. Comme il consume nécessairement à la combattre une force égale à celle que cette vapeur lui aurait communiquée, il s'ensuit que, durant l'espace CD, non-seulement il y a suspension dans l'action de la force motrice, mais il y a introduction de cette force motrice en sens contraire, et destruction proportionnée de la force antérieurement acquise.

On voit donc que l'effet de la force motrice pour le mouvement ne se produit que sur la longueur de la course diminuée de AD d'abord et de CD ensuite. De sorte que si ces deux distances sont représentées par β et α, on n'a réellement, pour l'effet à attendre de la machine, qu'une course de $l - \beta - \alpha$.

Or, nous avons vu (chap. V, art. V, § 2) que la limite de charge, que peut conduire une machine, est déterminée en calculant la pression sur le piston comme égale à la pression dans la chaudière, ou bien est exprimée par

$$M = \frac{(P-p)\,d^2 l}{(\delta+n)\,D} - \frac{F}{\delta+n},$$

expression dans laquelle l représente la course du piston. Il est donc clair que cette limite de charge sera d'autant moins grande que la course sera diminuée, et qu'à cela près du frottement de la machine, ou du terme $\frac{F}{\delta+n}$, la charge sera réduite en proportion de la longueur de la course.

Ainsi, l'on voit quels sont les effets de l'avance du tiroir :

La charge *maximum* que peut tirer la machine devient moins considérable, et sa réduction est à fort peu près dans le rapport $\frac{l-\alpha-\beta}{l}$.

D'autre part, pour toutes les charges inférieures à cette limite, la machine prend un accroissement de vitesse dans le rapport $\frac{l}{l-\epsilon}$.

Le surplus d'effet, produit dans ce dernier cas, ne doit pas surprendre. Il est un effet naturel de la diminution de la course, qui fait qu'une même masse de vapeur produite par la chaudière pourra fournir un plus grand nombre de cylindres dans un cas que dans l'autre; et la formule générale de la vitesse pour une charge donnée le montre au premier coup d'œil. Cette formule est (chap. V, art. V, § 1)

$$V = \frac{mSPD}{(F + \vartheta M + nM)D + \rho d^2 l}.$$

La quantité l, qui représente la course du piston, n'y entre qu'au dénominateur. Ainsi, plus la course sera petite, plus la vitesse du mouvement pour une même charge sera considérable.

On a pu d'ailleurs remarquer déjà un effet analogue dans les machines. C'est celui qui résulte d'une différence dans le diamètre du cylindre. Entre deux machines à cylindres de 12 pouces, et de 11 pouces de diamètre, toutes choses égales d'ailleurs, la première sera capable de tirer une charge *maximum* plus considérable; mais pour des charges égales, inférieures à ces limites, la machine de 11 pouces aura la plus grande vitesse. Ces faits ressortent de la formule même

qu'on vient de reproduire, et s'expliquent de la même manière que ceux résultant de l'avance du tiroir.

§ 2. *Calcul des effets de l'avance du tiroir.*

Ceci suffit quand on n'a besoin que de s'expliquer les causes des résultats produits. Mais si l'on veut calculer *à priori* les effets d'une avance de tiroir donnée, il est nécessaire de connaître la mesure exacte des distances a et c. C'est-à-dire qu'il faut chercher la situation du piston correspondante à celle du tiroir, dans le moment qu'il intercepte ou qu'il ouvre les passages.

Pour pouvoir déterminer la situation relative du tiroir et du piston, il faut se représenter bien clairement quatre circonstances déjà expliquées dans la description de la machine (§ 6, 7 et 8), et qui forment la liaison du mouvement entre ces deux parties du mécanisme. (*Voyez* fig. 9 et 10.)

Le tiroir a un mouvement de va-et-vient sur les trois ouvertures du cylindre. Il va alternativement d'une de ses positions extrêmes à l'autre, sans s'arrêter.

Ce mouvement est produit par la révolution du rayon de l'excentrique autour de l'axe de l'essieu, ce qui fait l'effet d'une manivelle ordinaire. Mais comme la communication entre l'excentrique et le tiroir se fait par un levier à balancier, le tiroir

est poussé en avant quand l'excentrique est en arrière, et réciproquement.

Le rayon de l'excentrique est à angle droit sur la manivelle; d'où résulte que quand la manivelle est horizontale, l'excentrique est au contraire vertical, et par conséquent le tiroir se trouve dans sa position moyenne. Réciproquement, quand la manivelle est verticale, l'excentrique est horizontal et le tiroir dans sa position extrême.

Enfin, le piston se trouve juste au bout de sa course quand la manivelle est horizontale. Ainsi il résulte de l'article précédent que la position moyenne du tiroir correspond au bout de la course du piston. Ces différents effets sont représentés dans les figures 9 et 10.

D'après ces rapprochements, on voit que, quand le tiroir est dans sa position moyenne (fig. 10), l'excentrique est vertical, la manivelle horizontale et le piston au bout de sa course.

Quand le tiroir est dans une de ses positions extrêmes (fig. 9), l'excentrique est horizontal, la manivelle verticale et le piston au milieu du cylindre.

On voit encore que si le tiroir n'avait pas d'avance du tout sur le piston, c'est-à-dire si l'excentrique était rigoureusement à angle droit sur la manivelle, la position moyenne du tiroir correspondrait juste au bout de la course du piston. Si elle s'en écarte un peu, c'est-à-dire si le tiroir passe

à sa position moyenne un peu avant que le piston n'arrive au fond du cylindre, ce sera précisément l'avance dont nous nous occupons.

Cela posé, prenons le tiroir quand il est dans sa position moyenne, et par conséquent que l'excentrique se trouve juste dans la verticale. Dans ce moment tout se trouve fermé, comme on le voit représenté dans les figures 10 et 26. Mais comme les dimensions du tiroir sont telles, que sur toutes les ouvertures il y a un petit recouvrement qui est ordinairement de $\frac{1}{8}$ de pouce, on voit que tous les passages étaient déjà fermés un instant auparavant, savoir, $\frac{1}{8}$ de pouce avant que le tiroir ne fût arrivé dans cette position. Ainsi, la direction de son mouvement étant marquée par la flèche, quand le tiroir était dans la position *a* (fig. 26), tous les passages ont commencé à être fermés, et ainsi la vapeur a été interceptée. C'est donc le point où commence l'action de l'avance, ou celui correspondant au point A de la course du piston sur la figure 25.

Tandis que le tiroir passe de la position *a* à la position *b*, et ensuite à la position *c*, tout reste dans le même état. Mais une fois parvenu en ce point *c*, le passage de droite commence à s'ouvrir pour admettre la vapeur sur le côté opposé du piston. C'est donc le point correspondant à celui que nous avons désigné par C dans le mouvement du piston.

Après avoir dépassé ce point *c*, le tiroir continue

d'ouvrir de plus en plus le passage à la vapeur. Si la machine est réglée sur une avance de $\frac{5}{8}$ de pouce par exemple, c'est-à-dire si le tiroir doit avoir ouvert le passage de $\frac{5}{8}$ de pouce dans l'instant que le piston termine sa course, il s'ensuit qu'en prenant à partir du point *c* une distance de $\frac{5}{8}$ de pouce, on aura le point *d* où se trouvera le tiroir dans le moment que le piston est au fond du cylindre. Ce point *d* sera donc le point qui correspond à celui que nous avons désigné par D dans la figure 25, c'est-à-dire qu'il correspondra à la fin de la course du piston.

Ces correspondances établies, il s'agit de déterminer les distances inconnues AD et CD prises sur la course du piston, d'après les distances données *ac*, *cd*, prises sur la course du tiroir. Ces dernières sont en effet données, car la seconde est l'avance du tiroir, et la première est la même avance augmentée de deux fois le recouvrement *ab*.

Or, si l'on suppose que le tiroir ait en tout un mouvement de va-et-vient de 3 pouces, il faut que l'excentrique opère ce mouvement, et ainsi que l'intervalle entre son centre et celui de l'essieu soit de 1 pouce et demi. Le centre de l'excentrique décrit par conséquent autour de l'axe de l'essieu un cercle dont le diamètre est 3 pouces, et cela pendant que la manivelle de l'essieu décrit un cercle dont le diamètre est 16 pouces, que nous supposons être la longueur de la course.

Si donc on prend le point *b* (fig. 27) pour

le centre de l'axe, et qu'autour de ce point on décrive un cercle dont le rayon soit 1 $\frac{1}{2}$ pouce, ce sera le cercle décrit par l'excentrique, et son diamètre sera la course parcourue par le tiroir. Si autour du même point on décrit un autre cercle de 8 pouces de rayon, ce sera celui que décrit la manivelle, et son diamètre sera la course parcourue par le piston.

Les choses étant ainsi, puisque la situation moyenne du tiroir correspond au moment où l'excentrique se trouve vertical, nous voyons que cette position du tiroir est ici le point *b*. Comme, en outre, on a vu qu'à cause du recouvrement du tiroir sur les ouvertures, la vapeur se trouve interceptée un instant auparavant, en prenant en deçà du point *b* un espace égal au recouvrement, on aura le point *a* où commence l'effet de l'avance. De même, en prenant au delà du point *b* un autre espace égal aussi à ce recouvrement, on aura le point *c* où les passages se rouvrent de nouveau. Et enfin, à une distance du point *c* égale à l'avance du tiroir, nous aurons le point *d* qui correspond à la fin de la course du piston.

Élevant, par ces mêmes points, des perpendiculaires jusqu'à la circonférence parcourue par l'excentrique, les points *a'*, *b'*, *c'*, *d'* seront ceux décrits par cet excentrique, tandis que le tiroir prend les positions indiquées par *a*, *b*, *c*, *d*.

Mais, tandis que l'excentrique décrit l'arc *a'd'*, la manivelle de l'essieu décrit nécessairement un

angle égal. Cette manivelle devant se trouver horizontale, ou coïncider avec bD à la fin de la course du piston, si à partir du point p on prend des arcs égaux à $d'c'$, $d'b'$, et $d'a'$, ou si l'on aime mieux des arcs dont le sinus soit dc, db et da, et qu'on mène des rayons par les points ainsi déterminés, on aura évidemment en A′, B′, C′ et D′ les points où se trouvait la manivelle, tandis que l'excentrique se trouvait aux points a', b', c' et d'. Abaissant, par les points A′, B′, C′ et D′, des perpendiculaires sur bD, on aura enfin, en A, B, C et D, les situations correspondantes et cherchées du piston.

Ainsi, récapitulant, tandis que le tiroir passera du point a où il commence à intercepter la vapeur, au point c où il ouvre le passage opposé, et au point d, fin de l'avance, l'excentrique parcourra les points $a'c'd'$, la manivelle parcourra sur son cercle les points A′C′D′, et enfin le piston se trouvera successivement, au point A où il cesse de recevoir l'impulsion de la vapeur, au point C où il la rencontre s'opposant à son mouvement, et au point D où finit sa course.

Actuellement il ne sera pas difficile de connaître, par des mesures absolues, les espaces CD et AD, que nous avons exprimés plus haut par α et c.

Il suffira pour cela, dans la pratique, de tracer exactement et à l'échelle la figure 27, puis de mesurer les espaces résultants CD et AD.

Pour obtenir ces mêmes quantités par le calcul,

on a

$$AD = bD - bD \cos. A'bD,$$

ou

$$AD = bD - bD \cos. \text{arc sin.} \frac{mi}{bp} = bD - bD \cos. \text{arc sin.} \frac{ad}{bp}.$$

Mais bD est la demi-course du piston que nous avons exprimée par l, et bp est la demi-course du tiroir que nous exprimerons par l'. Si en outre nous appelons a l'avance du tiroir ou cd, et que r exprime le recouvrement du tiroir sur les ouvertures, ou ab, ad sera exprimé par $a + 2r$. Ainsi, la quantité cherchée AD ou ε sera

$$\varepsilon = \frac{l}{2} - \frac{l}{2} \cos. \text{arc sin.} \frac{a + 2r}{\frac{l'}{2}}.$$

De même, on aura pour CD ou α :

$$\alpha = \frac{l}{2} - \frac{l}{2} \cos. \text{arc sin.} \frac{2a}{l'}.$$

Les quantités α et ε, dont nous nous sommes servis dans le paragraphe précédent, seront donc déterminées en fonction de la course du piston, de celle du tiroir, de l'avance et du recouvrement, qui sont toutes des quantités connues. Ainsi, l'on pourra calculer immédiatement l'effet de l'avance dans une machine donnée, soit sur la vitesse, soit sur la charge.

Prenons pour exemple une machine, avec course du piston 16 pouces, course du tiroir 3 pouces, recouvrement du tiroir sur les ouvertures $\frac{1}{8}$ de pouce, et supposons qu'on donne à cette machine une avance de $\frac{5}{8}$ de pouce.

$$\text{Dans ce cas, } \frac{a+2r}{\frac{l'}{2}} = \frac{7}{12} = 0{,}58333.$$

L'arc dont le sinus est $\frac{a+2r}{\frac{l'}{2}}$ est donc l'arc dont le sinus est 0,58333; ou, prenant les logarithmes, c'est l'arc dont le logarithme sinus est 9,76591.

Cherchant cet arc dans les tables, on trouve que son cosinus a pour logarithme 9,90967; et finissant le calcul, on trouve

$$c = 8^{po} - 8^{po} \times 0{,}81222 = 1^{po}{,}50.$$

De même,

$$a = 8^{po} - 8^{po} \times 0{,}90906 = 0^{po}{,}73.$$

Ainsi, l'on voit que dans ce cas, le piston se trouve à la distance de $1\frac{1}{2}$ pouce du fond du cylindre, dans le moment que l'action de la force motrice lui est retirée, et qu'il en est à $\frac{3}{4}$ de pouce, quand cette même force se trouve introduite contre lui. La figure 27, construite à l'échelle, donne les mêmes résultats.

D'après ce qui a été dit plus haut, la vitesse sera

augmentée dans le rapport $\frac{l}{l-c}$ ou $\frac{16}{14,5}$ pour toutes les charges qui ne dépasseront pas la limite de la machine ainsi réglée.

Et cette limite de charge sera réduite comme si la course, de la longueur l qu'elle était, se réduisait à la longueur $l - a - c = 13^{po},77$.

On trouve de même, en supposant à la machine une avance de $\frac{1}{8}$ de pouce, que l'espace qui reste alors à parcourir au piston quand on intercepte la vapeur est de $0^{po},25$, et que la vapeur est introduite en sens contraire quand ce piston est à $0^{po},03$ du fond du cylindre. D'où résulte qu'avec cette avance la vitesse est augmentée dans le rapport $\frac{16}{15,75}$, et que la charge *maximum* est diminuée comme si la longueur de la course était réduite à $15^{po},72$.

Prenons pour exemple une machine telle que *Vesta*, savoir :

d, diamètre du cylindre,	$11^{po}\frac{1}{8}$
l, course du piston,	16^{po}
D, diamètre de la roue,	$5^{pi} = 60^{po}$
F, frottement de la machine,	187^{lb}

La limite de charge étant donnée par la formule (chap. V, art. V, § 2) :

$$M = \frac{(P-p)d^2l}{(\delta+n)D} - \frac{F}{\delta+n},$$

On voit que si cette machine travaille à la pression effective de $56^{lb},5$ par pouce carré, la limite de charge sera :

Dans le cas d'une avance nulle, 187^t
Dans le cas d'une avance de $\frac{1}{8}$ de pouce, 183^t
Dans le cas d'une avance de $\frac{3}{8}$ de pouce, 158^t

Dans ces mêmes circonstances, d'après la formule (chap. V, art. V, § 1), les vitesses de la machine seront ainsi qu'il suit :

La charge de 187 tonnes sera tirée à la vitesse de $13^{mil},81$ par heure.

La charge de 183 tonnes, qui, si l'avance eût été nulle, aurait eu la vitesse de $14^{mil},03$, aura un accroissement de vitesse dans le rapport $\frac{16}{15,75}$; c'est-à-dire que cette vitesse sera $14^{mil},25$.

Enfin, la vitesse de la charge de 158 tonnes, qui pour une avance nulle eût été $15^{mil},54$, deviendra en raison de l'avance $17^{mil},14$.

On voir par là que les effets de l'avance, soit sous le rapport de la vitesse, soit sous celui de la charge *maximum*, ne sont très-sensibles que pour une avance un peu considérable.

§ 3. *Expériences sur les effets de l'avance du tiroir.*

Le calcul précédent nous donne la perte de force qui se produit dans la machine, en raison de l'avance du tiroir.

Cependant, aucune recherche n'ayant encore été faite sur ce sujet, tout se règle jusqu'à présent par simple opinion. On trouve des constructeurs qui ne donnent aucune avance du tout, d'autres qui donnent $\frac{1}{16}$ ou $\frac{1}{8}$ de pouce au plus, d'autres qui vont jusqu'à donner $\frac{3}{8}$ de pouce ou davantage. Quoique l'avance employée avec modération facilite le jeu de la machine, il est évident que poussée trop loin elle doit finir par en arrêter l'effet. C'est pourquoi nous voulûmes entreprendre quelques expériences à ce sujet.

Nous commençâmes d'abord à nous servir, pour cette recherche, de la machine *Leeds*, et nous fîmes les trois expériences du 15 août rapportées plus haut (chap. V, art. V, § 6), la première avec une avance de $\frac{1}{8}$ de pouce, la seconde avec une avance nulle, et la troisième avec une avance de $\frac{3}{8}$. Mais, comme le changement de charge, de pression et d'inclinaison de la route introduisaient nécessairement beaucoup de complication dans les résultats à comparer, nous abandonnâmes bientôt cette machine pour employer à sa place la machine *Vesta*. Celle-ci, par une disposition particulière, due à M. J. Gray, l'un des réparateurs-constructeurs de la compagnie, pouvait sans interrompre sa marche changer l'avance de son tiroir, de sorte qu'avec la même charge et sur le même lieu on pouvait essayer successivement la machine avec différentes avances de tiroir. Cet effet se produisait au moyen de trois épaule-

ments plus ou moins reculés sur l'excentrique, et sur lesquels on pouvait amener à volonté le directeur au moyen du levier ordinaire d'engrenage. Le premier de ces épaulements donnait une avance de $\frac{1}{8}$ de pouce; le second en donnait une de $\frac{3}{8}$; et enfin le troisième correspondait à une avance de $\frac{5}{8}$ de pouce. Pour rendre les différences plus sensibles, c'est entre la première et la troisième de ces positions du tiroir que nous cherchâmes à obtenir une comparaison.

On se souvient que la machine *Vesta* a les proportions suivantes :

Cylindres,	$11^{po}\ \frac{1}{8}$.
Course du piston,	16^{po}
Roue,	5 pieds.

I. Le 16 août 1834, au matin, étant arrivés avec la machine et un train de vingt wagons au pied de la pente de Whiston, inclinée à $\frac{1}{89}$, on détacha tout le train hors les sept premiers wagons, pesant ensemble $34^t,43$, et avec le convoi, $39^t,93$; et la machine entreprit de gravir la pente avec cette charge.

On lui donne d'abord l'avance de $\frac{5}{8}$ de pouce. Partant du pied du plan avec une vitesse acquise de 10 milles par heure, elle continue son mouvement pendant quelque temps, mais se ralentit visiblement, et après avoir parcouru $\frac{3}{4}$ de mille elle s'arrête, la pression étant $23^{lb}\ \frac{1}{2}$ à la balance.

On met l'avance à $\frac{1}{8}$ de pouce. La machine repart

et termine la montée avec une vitesse à la crête du plan, de 14 coups de piston complets par minute, la pression à la balance se réduisant à 23 lb. $\frac{1}{4}$.

II. Le soir du même jour, la machine ayant conduit au même lieu un train de huit wagons chargés et douze vides, on lui laisse attachés les huit wagons chargés seulement, dont le poids ensemble était 27^t,05, et avec le convoi, 32^t,05. Avec cette charge elle part du pied du plan avec une vitesse acquise de 10 milles par heure.

Avance $\frac{5}{8}$. La machine arrive sans s'arrêter jusqu'au sommet du plan. Pression à la balance 23^{lb}. Vitesse à la crête 46 coups de piston complets par minute.

III. La machine étant redescendue avec les mêmes wagons, on attache à leur suite six des wagons vides, faisant avec les wagons chargés un poids total de 43^t,18, et convoi compris, 48^t,18.

Cette charge est trop pour la machine, même avec sa moindre avance. Pression, 23 lb. On détache deux des wagons vides.

IV. La machine tire alors un train de huit wagons chargés et quatre vides, formant ensemble un poids de 34^t,05, et convoi compris, 39^t,05.

On donne l'avance de $\frac{5}{8}$; la machine ne peut partir sur le plan.

On met l'avance à $\frac{1}{8}$; la machine part et augmente graduellement sa vitesse, donnant successivement 11 coups de piston par minute, puis 12, puis 14, puis 17.

Alors on essaye encore l'avance de $\frac{5}{8}$; la machine s'arrête de nouveau.

On revient à l'avance de $\frac{1}{8}$; le train repart. Pression durant toute l'expérience, 23 lb. à la balance.

V. Le train continuant de monter, on détache encore deux des wagons vides; il en reste alors huit chargés et deux vides, pesant ensemble 30t,38, et avec le convoi, 35t,38.

Avance $\frac{5}{8}$; la machine s'arrête; pression 23 lb. à la balance.

Avance $\frac{1}{8}$; elle repart; même pression.

VI. Enfin on détache encore un des deux wagons vides, et le train se réduit à 28t,55, et convoi compris, 33t,55.

Avance $\frac{5}{8}$; la machine s'arrête; pression 23 lb. à la balance.

Avance $\frac{1}{8}$; elle repart et termine la montée, quoique, par suite de la longueur de l'expérience, la pression baisse graduellement de 23 à 21 $\frac{1}{2}$ à la balance.

La machine exécute ainsi à 21lb $\frac{1}{2}$ de pression, ce qu'elle ne pouvait avec l'avance de $\frac{5}{8}$ exécuter à la pression de 23 lb.

Cette suite d'expériences nous donne à bien peu près la mesure exacte du pouvoir de la machine dans l'un et l'autre cas, ou la perte de force due à la différence d'avance.

§ 4. *Tableau des résultats obtenus dans ces expériences.*

Pour mettre toutes les expériences ensemble sous les yeux du lecteur, nous les réunissons dans le tableau suivant.

Digitized by Google

Expériences sur les effets de l'avance

NOM et désignation de la machine.	NUMÉROS des expériences.	CHARGE de la machine, convoi compris.
		tonnes.
VESTA, cylindres 11po 1/8	III	48,18
course 16po	I.	39,93
roue 5pi	IV	39,05
poids. 8t,71	V	35,38
frottement 187lb	VI	33,55
	II	32,05

MÊME TABLEAU EN

NOM et désignation de la machine.	NUMÉROS des expériences.	CHARGE de la machine, convoi compris.
		tonneaux.
VESTA, cylindres 28cm,3	III.	48,93
course 40cm,6	I.	40,56
roue. . . . . 1 , 525	IV	39,66
poids 8t,85	V	35,93
frottement 84kg	VI	34,07
	II	32,55

du tiroir des machines.

AVANCE DU TIROIR, $\frac{5}{8}$ DE POUCE.		AVANCE DU TIROIR, $\frac{1}{8}$ DE POUCE.	
Vitesse en coups de piston complets par minute.	Pression effective en livres par pouce carré d'après la balance.	Vitesse en coups de piston complets par minute.	Pression effective en livres par pouce carré, d'après la balance.
	lb.		lb.
La machine s'arrête.	20.23 = 56,5	S'arrête.	20.23 = 56,5
S'arrête.	20.23,5 = 58	Repart, et donne 14 coups par minute.	20.23,25 = 57,25
S'arrête.	20.23 = 56,5	Repart, et donne 17 coups par minute.	20.23 = 56,5
S'arrête.	20.23 = 56,5	Repart.	20.23 = 56,5
S'arrête.	20.23 = 56,5	Repart.	20.21,5 = 52
Donne 46 coups de piston par minute.	20.23 = 56,5		

MESURES FRANÇAISES.

AVANCE DU TIROIR, 16 MILLIMÈTRES.		AVANCE DU TIROIR, 3,2 MILLIMÈTRES.	
Vitesse en coups de piston complets par minute.	Pression effective en kilogrammes par centimèt. carré, d'après la balance.	Vitesse en coups de piston complets par minute.	Pression effective en kilogrammes par centimèt. carré, d'après la balance.
	kg		kg
La machine s'arrête.	20.23 = 3,98	S'arrête.	20.23 = 3,98
S'arrête.	20.23,5 = 4,08	Repart, et donne 14 coups par minute.	20.23,25 = 4,03
S'arrête.	20.23 = 3,98	Repart, et donne 17 coups par minute.	20.23 = 3,98
S'arrête.	20.23 = 3,98	Repart.	20.23 = 3,98
S'arrête.	20.23 = 3,98	Repart.	20.21,5 = 3,65
Donne 46 coups de piston par minute.	20.23 = 3,98		

D'après ces expériences, tout ce que peut faire la machine avec une avance de $\frac{1}{4}$ de pouce au tiroir est de tirer un train pesant, sans le convoi, 27t,05 ;

Et avec une avance de $\frac{1}{8}$, elle peut tirer un train pesant, sans le convoi, 34t,05.

Ainsi, en comparant les *effets utiles* de la machine dans les deux cas, on voit qu'ils sont dans la proportion des nombres 4 et 5, ce qui constitue dans la pratique un avantage considérable en faveur de la moindre avance.

Pour avoir cependant une mesure *absolue* de la force qu'est capable de développer la machine dans les deux circonstances, il fut calculer la résistance totale qui s'opposait au mouvement du piston dans chaque cas.

Dans le premier, la machine tirait un train, convoi compris, de 32t,05, sur une pente à $\frac{1}{99}$. En raison de la gravité de la masse sur le plan, y compris 8t,71 pour le poids de la machine, le train était équivalent sur niveau à une charge de 160 tonnes.

Dans le second cas, la machine tirait sur la même pente un train de 39t,05, équivalent sur niveau à une charge de 189 tonnes.

On voit ces nombres s'accorder sensiblement avec ceux déduits du calcul. Si ceux que nous donne l'expérience sont un peu plus grands, cela tient à ce que nous comptons ici le convoi comme étant resté de 5 tonnes, tandis que, durant cette longue expérience, la consommation d'eau et de

coke avait dû le faire baisser considérablement au-dessous de ce poids, sans que nous puissions en tenir compte. On a dit que lorsque ce convoi est tout à fait vide, son poids n'est plus que de 3 tonnes, ce qui sur niveau fait 2 tonnes de moins que nous ne comptons, et sur le plan incliné à $\frac{1}{80}$ dont il est question ici, fait une réduction de 8 tonnes dans la charge.

On peut donc conclure de l'expérience, aussi bien que de la théorie, que *la diminution de force produite par l'avance du tiroir est en proportion de la diminution résultante dans la longueur utile de la course du piston.*

§ 5. *De la manière de régler l'avance du tiroir.*

D'après ces résultats, on voit qu'une avance trop considérable enlève à la machine une partie notable de sa force. Il est donc nécessaire de ne pas dépasser à cet égard certaines limites.

C'est d'ailleurs une chose facile que de connaître cette avance, ou de la régler au point que l'on juge convenable.

Après avoir ouvert la chambre située sous la cheminée et enlevé le dessus de la boîte des tiroirs, de manière à voir ceux-ci se mouvoir à découvert, on pousse doucement la machine à bras et en avant sur les rails, jusqu'à ce que la manivelle de l'essieu soit parfaitement horizontale.

Alors le piston est au fond du cylindre. En me-

surant donc de quelle quantité le tiroir ouvre en ce moment le passage de la vapeur, on a l'avance du tiroir.

Si l'on veut changer cette avance, on conserve la manivelle dans la même position, et détachant le directeur qui n'est fixée à l'essieu que par une vis de pression, on fait tourner l'excentrique à la main jusqu'à ce que le tiroir, qui se meut en même temps, ait ouvert le passage de la quantité désirée. Alors on repose le directeur de manière qu'il fixe l'excentrique dans cette position. Cette opération terminée, il est clair que toutes les fois que la manivelle sera horizontale ou le piston prêt à commencer sa course, le tiroir se trouvera ouvrir le passage de la quantité fixée.

On a dit que pour amener la manivelle horizontale, c'est en avant qu'il faut pousser la machine. Le motif de cette distinction est de faire en sorte que tous les joints soient serrés de la même manière qu'ils le sont dans le mouvement progressif de la machine. Encore faut-il tenir compte de ce que ces joints seront plus serrés encore, et l'avance tant soit peu réduite, quand la machine aura à supporter la tension produite par une charge considérable.

Une autre attention à avoir avant de donner l'avance, ou de la mesurer, c'est de s'assurer que le tiroir a un jeu bien égal entre les trois ouvertures du cylindre; c'est-à-dire que dans ses deux positions extrêmes il s'écarte également des deux côtés

de l'ouverture moyenne. Sans cela l'avance du tiroir ne serait pas la même dans les deux mouvements du piston. Ce défaut, s'il existe, se corrige aisément en allongeant ou raccourcissant selon le besoin la tige de l'excentrique. Cette tige est formée exprès de deux parties (fig. 9 et 10), terminées par deux vis dont les pas sont tournés en sens contraire, et réunies par un écrou mobile E. Quand on tourne cet écrou à droite, par exemple, les deux vis se serrent et la tige se raccourcit. Si au contraire on le tourne à gauche, les deux vis se desserrent et la tige s'allonge.

Le règlement du tiroir est donc une opération facile.

On peut d'ailleurs changer l'avance du tiroir, d'une manière suffisamment exacte, sans ouvrir la machine. Il suffit de faire d'avance sur l'essieu avec un ciseau et un marteau deux ou trois entailles correspondantes à deux ou trois positions du directeur pour des avances données. Une fois ces marques déterminées avec soin de la manière ci-dessus, il est facile, en reportant le directeur de l'une à l'autre, de faire passer le tiroir d'une avance à une autre plus petite ou plus grande. C'est le moyen que nous avons employé dans les essais que nous avons faits d'abord à cet égard avec la machine *Leeds*, et dans lesquels nous avons changé successivement l'avance, de nulle à $\frac{1}{8}$ et à $\frac{2}{8}$ de pouce.

Les machinistes ont plusieurs moyens approxima-

tifs d'arriver au même résultat. Ils ont remarqué qu'en général une variation de $\frac{1}{2}$ pouce, pour le directeur, dans l'ouverture de l'excentrique, correspond à une variation de $\frac{1}{8}$ de pouce à l'avance du tiroir. Ainsi, connaissant l'avance actuelle de leur machine, ils peuvent, en se guidant sur cette observation, diminuer ou augmenter cette avance autant qu'ils le veulent. Ils y parviennent encore en desserrant quelques clefs ou quelques joints, de manière que la tige de l'excentrique n'entraîne pas immédiatement après elle la tige des tiroirs, mais laisse, je suppose, $\frac{1}{8}$ de pouce de jeu dans la communication de mouvement de l'une à l'autre. On conçoit en effet que par ce moyen le tiroir ne commencera son mouvement que $\frac{1}{8}$ de pouce après l'excentrique. Si donc le tiroir avait auparavant $\frac{3}{8}$ de pouce d'avance, il n'en aura désormais que $\frac{2}{8}$. Mais ce moyen et d'autres semblables sont contraires à la conservation de la machine.

Dans les expériences que nous avons rapportées plus haut sur la vitesse et la charge, il n'y avait aucune machine, à l'exception de *Vesta*, où l'avance du tiroir fût assez considérable pour avoir un effet bien marqué sur la vitesse. La petite différence que peut produire une avance de $\frac{1}{8}$ ou $\frac{2}{8}$ de pouce seulement est en effet contre-balancée facilement, soit par un feu plus actif, soit par une plus haute pression, soit par quelque autre circonstance accidentelle du mouvement.

Dans ces expériences, les diverses machines

étaient déclarées réglées pour les avances suivantes :

ATLAS. . . . . Avance nulle dans l'expérience du 23 juillet, avec 40 wagons.
$\frac{2}{8}$ de pouce dans les expériences du 17 juillet, avec 13 et 11 wagons.
$\frac{1}{8}$ de pouce dans toutes les autres.

FIREFLY. . . . . $\frac{1}{8}$ de pouce.

FURY. . . . . $\frac{2}{8}$ de pouce dans les expériences avec train de wagons.
$\frac{3}{8}$ de pouce dans l'expérience avec diligences.

VULCAN. . . . . $\frac{3}{8}$ de pouce.

LEEDS. . . . . $\frac{1}{8}$ de pouce dans la première expérience du 15 août, avec 20 wagons.
Nulle dans la deuxième expérience du même jour, avec 8 wagons.
$\frac{2}{8}$ de pouce dans la troisième, avec 7 wagons.

VESTA. . . . . $\frac{5}{8}$ de pouce dans toutes les expériences, hors le temps de la montée des plans inclinés, où on a réduit l'avance à $\frac{1}{8}$.

Pour la transformation en mesures françaises, il nous suffira de dire que $\frac{1}{8}$ de pouce vaut, en millimètres, $1^{mm},17$.

CHAPITRE SEPTIÈME.

DES COURBES ET DES PENTES.

—

ARTICLE PREMIER.

DES COURBES.

§ 1. *Calcul de l'inclinaison conique des roues pour annuler l'effet des courbes.*

Nous avons considéré les dispositions propres de la machine, qui peuvent favoriser ou restreindre son effet. Il nous reste à examiner deux circonstances extérieures, qui peuvent avoir sur le mouvement une influence semblable. Ce sont les courbes et les pentes.

Les courbes offrent sur les railways un surcroît de résistance d'autant plus grand que leur degré de courbure est plus considérable.

Les wagons, en vertu de leur forme carrée, tendent à continuer leur mouvement en droite ligne devant eux. Si donc ils doivent suivre une courbe, le mentonnet des roues ne passe plus tan-

gentiellement au rail sans le toucher, comme cela a lieu dans le mouvement direct. Le rail, au contraire, se présente partiellement en travers devant la roue, et ainsi s'oppose à sa progression en la détournant constamment de sa direction.

En outre, la roue qui suit le rail extérieur à la courbe a nécessairement un plus grand chemin à parcourir que celle qui suit le rail intérieur. Or, dans les wagons en usage, les deux roues d'une même paire ne sont pas indépendantes l'une de l'autre. Elles sont fixées sur l'essieu qui tourne avec elles. Le chemin que l'une des deux roues parcourt, ne peut donc être moindre que le chemin parcouru par l'autre, que parce que cette dernière roue est traînée sans tourner sur la différence de longueur des deux chemins à parcourir.

Enfin, au passage des courbes, les wagons sont jetés par la force centrifuge du mouvement contre le rail extérieur, et il en résulte un frottement latéral du mentonnet de la roue contre le rail, qui n'existe nullement dans le mouvement direct.

Il est possible de construire les roues des wagons et le railway, de telle manière que ces trois causes accessoires de résistance soient détruites. Les moyens que nous allons développer, pour parvenir à ce but, ne sont autres que ceux déjà connus, savoir, l'inclinaison conique de la bande de roue et la surélévation du rail extérieur à la courbe. Mais ces moyens ne sont employés jusqu'ici que par des à peu près, et ainsi remplissent

plus ou moins imparfaitement le but qu'on se propose. En les soumettant au calcul, nous espérons en déduire des règles générales, qui rendront certains d'avance que l'effet désiré sera obtenu.

La résistance particulière due au passage des courbes se compose de deux parties distinctes dans leurs causes et dans leurs effets.

La première, comme nous l'avons vu plus haut, tient à ce que les wagons sont obligés de tourner le long de la courbe; ce qui produit opposition du rail au mouvement, et traînement de la roue.

La seconde est due à la force centrifuge, et produit le frottement du mentonnet de la roue contre le rail.

On corrigera évidemment la première espèce de résistance, si l'on parvient à construire les roues du wagon de telle sorte que ce wagon suive de lui-même la courbe du railway. Or, il suffira pour cela de faire la roue légèrement conique, avec son plus grand diamètre du côté interne, c'est-à-dire vers le corps du wagon.

Par cette disposition, quand la force centrifuge jettera le wagon sur le côté extérieur de la courbe, la roue du même côté portera alors sur une bande d'un plus grand diamètre. Il en résultera deux effets. Le wagon ne tendra plus à marcher droit devant lui. Une de ses roues devenant plus grande que l'autre, il aura au contraire une tendance à tourner dans la même direction que la courbe. En outre, les deux roues couplées parcourront naturel-

lement des longueurs de chemin différentes, sans qu'il y ait aucun traînement sur le rail.

Supposons que mm' et nn' (figure 28) représentent les deux lignes de rails de la voie. Pour que le wagon suive sans effort la courbe que forme cette voie, il faut que, tandis que la roue extérieure parcourt l'arc mm', la roue intérieure parcoure d'elle-même l'arc nn', qui se termine au même rayon que le premier. Si donc la longueur mm' représente un tour de la roue extérieure, nn' doit aussi être un tour de la roue intérieure; et les diamètres des deux roues doivent être dans un certain rapport pour que cet effet se produise.

Soit D le diamètre de la première de ces roues, et D′ celui de la seconde, π étant le rapport de la circonférence au diamètre : on aura

$$mm' = \pi D, \quad \text{et} \quad nn' = \pi D'.$$

Or, les deux arcs étant terminés de part et d'autre à un même rayon, on a

$$\frac{mm'}{nn'} = \frac{mo}{no}.$$

Si l'on exprime le rayon de courbure os par r et la demi-largeur de la voie par e, ce rapport pourra s'écrire :

$$\frac{mm'}{nn'} = \frac{r+e}{r-e},$$

donc

$$\frac{D}{D'} = \frac{r+e}{r-e},$$

et enfin,

$$D - D' = D\left(1 - \frac{r-e}{r+e}\right).$$

Cette relation montre la différence qui doit exister entre les diamètres des roues pour que l'effet désiré soit obtenu.

Comme nous voulons produire cet effet en poussant le wagon de côté sur la voie, il s'agit de connaître le dérangement latéral que ce wagon doit éprouver pour cela.

Ce point dépendra évidemment du degré d'inclinaison conique de la roue.

A Liverpool on donne aux roues 3 pieds de diamètre à la partie interne ou près du mentonnet, et 2^{pi} 11^{po} à la partie externe. La roue est originairement cylindrique, mais l'inclinaison conique est produite par l'addition d'une seconde bande dont l'épaisseur, non compris le mentonnet, a d'un côté pouce de moins que de l'autre. La figure 29 représente la coupe de cette bande à l'échelle de $\frac{1}{4}$. Sa largeur étant de $3^{po}\,\frac{1}{2}$, on voit que son inclinaison conique est de $\frac{1}{2}$ pouce sur $3\,\frac{1}{2}$, ou de $\frac{1}{7}$.

Soit, en général, cette inclinaison de la bande exprimée par $\frac{1}{a}$. Les deux roues marchant primitivement sur des bandes égales, pour que la différence D—D′ soit produite dans leurs diamètres par un déplacement de la bande sur le rail, il faut évidemment que ce déplacement latéral de

la roue soit de

$$\frac{1}{4} a (D - D');$$

car, l'inclinaison de la bande étant $\frac{1}{a}$, ce déplacement produira sur l'épaisseur de la bande, ou sur le rayon de la roue, une différence de

$$\frac{1}{4} (D - D'),$$

ce qui fera sur le diamètre

$$\frac{1}{2} (D - D').$$

Cette différence de diamètre se produira en plus à la roue extérieure, et comme une différence égale, mais en sens inverse, c'est-à-dire en moins, se produira à la roue intérieure, il en résultera une différence totale de D—D′ entre les diamètres actuels de ces deux roues, comme nous l'avons dit.

Ainsi, le mouvement latéral à produire est

$$\frac{1}{4} a (D - D') = \frac{1}{4} aD \left(1 - \frac{r-e}{r+e}\right).$$

§ 2. *Calcul de la surélévation des rails pour annuler l'effet des courbes.*

Voilà donc la quantité dont le wagon doit être dérangé latéralement, pour que la première espèce de résistance soit détruite. Il s'agit maintenant d'employer la force centrifuge à produire cet effet. C'est sa tendance naturelle ; mais il est évident que

cette force ne doit produire exactement que le déplacement convenable, sans quoi le défaut ne serait nullement corrigé.

La force centrifuge, dans la courbe dont le rayon de courbure est r, a pour expression, en représentant par V la vitesse du mouvement, et par m la masse du corps en mouvement,

$$f = m\frac{V^2}{r}.$$

Mais P étant le poids du même corps, et g la force accélératrice de la pesanteur, on a

$$P = gm, \quad \text{d'où} \quad m = \frac{P}{g};$$

donc

$$f = \frac{PV^2}{gr}.$$

C'est l'expression de la force centrifuge pour un corps de poids donné P, se mouvant avec une vitesse V, sur une courbe dont le rayon de courbure est r.

Dans cette expression, g est la force accélératrice de la pesanteur, ou, comme on sait, le double de l'espace parcouru dans l'unité de temps par un corps tombant dans le vide. Prenant la seconde pour l'unité de temps, et le pied pour l'unité d'espace, on a $g = 32$. En rapportant donc aux mêmes unités la vitesse V et le rayon de courbure r, on aura la mesure de la force centrifuge

exprimée par son rapport au poids P, ou représentée par un poids.

Si l'on se sert des mesures métriques françaises, avec la seconde pour unité de temps, on a $g = 9,81$; et la vitesse, ainsi que le rayon de courbure, devront être exprimés en mètres.

Supposons, par exemple, que la vitesse du mouvement soit de 20 milles par heure ou 29,3 pieds par seconde, et le rayon de la courbe de 500 pieds, alors on aura

$$f = P \times \frac{\overline{29,3}^2}{32 \times 500} = \frac{1}{19} P.$$

Ainsi, dans ce cas, la force centrifuge sera le 19me du poids du corps en mouvement.

Le sens des signes étant donc bien compris, nous retournons à l'expression générale de la force centrifuge :

$$f = P \times \frac{V^2}{gr}.$$

L'effort de cette force s'exerçant dans la direction du rayon, son effet sera de pousser tous les wagons en dehors de la courbe. Si les deux côtés du railway sont également élevés, les wagons ne seront arrêtés dans ce mouvement latéral que par le frottement du mentonnet de la roue contre le rail. Mais si nous donnons au rail extérieur une surélévation de plus en plus grande au-dessus du rail intérieur, il est clair que nous pourrons arriver à maîtri-

ser cette force centrifuge, de manière à ne lui laisser produire que le déplacement dont nous avons besoin. En effet, en élevant ainsi le côté extérieur, nous faisons du railway un plan incliné. Les wagons placés sur ce plan devraient, en vertu de leur gravité, glisser vers le rail le plus bas. D'autre part, la force centrifuge les pousse vers le rail extérieur, qui est le plus haut. Nous créons donc par là un contre-poids à cette force centrifuge.

Appelons y le surplus d'élévation donné au rail extérieur (figure 30); $2e$ étant la largeur de la voie, le plan sur lequel se trouvent les wagons a pour inclinaison $\frac{y}{2e}$. Sur ce plan, la gravité d'un corps quelconque, dont le poids est P, a pour valeur

$$P \times \frac{y}{2e}.$$

Cette gravité, comme nous l'avons vu, tend à faire tomber le wagon en dedans de la courbe, tandis que la force centrifuge l'entraîne au dehors. Si donc nous choisissions la hauteur y, telle qu'on eût

$$P \times \frac{y}{2e} = P \times \frac{V^2}{gr},$$

le train, en passant sur la courbe, ne serait pas du tout dérangé de sa position primitive, parce que la gravité et la force centrifuge se feraient équilibre.

Mais, comme nous voulons, au contraire, par les

motifs précédemment expliqués, que le wagon soit poussé latéralement d'une certaine quantité exprimée par

$$\frac{1}{4} a\mathrm{D}\left(1-\frac{r-e}{r+e}\right)=\gamma,$$

nous devons chercher quelle est l'inclinaison nécessaire.

Supposons donc le train dérangé de la quantité convenable. Supposons, par exemple, que le train ait été poussé de la position *ab* à la position *cd*, c'est-à-dire que le point de la roue intérieure qui était en *a* soit venu en *c*, à la distance γ du premier point, et qu'en même temps le point de la roue extérieure qui était en *b* soit venu en *d*. Dans cette situation, le plan incliné, sur lequel se trouve le train, a pour inclinaison

$$\frac{y}{2e-\gamma}.$$

Pour que la force centrifuge maintienne le wagon dans cette position, sans le chasser en dehors ou le laisser retomber en dedans, il faut qu'on ait :

$$\mathrm{P}\times\frac{y}{2e-\gamma}=\frac{\mathrm{PV}^2}{gr},$$

ou

$$y=\frac{\mathrm{V}^2}{gr}(2e-\gamma).$$

En substituant pour γ sa valeur, cette relation

devient

$$y = \frac{V^2}{gr}\left[2e - \frac{1}{4}\,aD\left(1 - \frac{r-e}{r+e}\right)\right].$$

Connaissant donc la forme conique et le diamètre des roues, ainsi que la vitesse moyenne du mouvement et la largeur de la voie, cette expression nous donnera la surélévation y convenable au rayon de courbure r.

Si nous supposons qu'il s'agisse du railway et des wagons de Liverpool, c'est-à-dire qu'on ait :

V, vitesse moyenne, 20 milles par heure, ou $29^{pi},3$ par seconde;

$\frac{1}{a}$, inclinaison de la bande de roue $= \frac{1}{7}$;

e, demi-largeur de la voie $= 2^{pi},35$;

D, diamètre de la roue à sa place normale sur le rail $= 3^{pi}$; et qu'il s'agisse de construire sur ce railway une courbe de 500 mètres de rayon, sur laquelle les wagons n'éprouvent aucune résistance additionnelle : l'équation donnera

$$y = 0^{pi},2495, \text{ ou en pouces } y = 3^{po}.$$

Il faudra donc, pour cette courbe et avec cette roue, donner une surélévation de 3 pouces au rail extérieur.

Nous avons jusqu'ici pris l'inclinaison $\frac{1}{a}$ de la bande de roue comme étant donnée *à priori*. Comme c'est de cette inclinaison que dépend la

mesure du déplacement que doit éprouver le wagon sur les rails, il est évident qu'elle doit être choisie telle, que la courbe la plus prononcée, qui se trouve sur la ligne, ne produise jamais un dérangement assez grand pour que le mentonnet de la roue vienne en contact avec le rail.

C'est-à-dire que c'est de cette inclinaison que nous voulons nous servir pour rendre impossible la seconde espèce de résistance des courbes, savoir, le frottement du mentonnet.

On a vu plus haut que le dérangement latéral nécessaire a pour mesure

$$\gamma = \frac{1}{4} a D \left(1 - \frac{r-e}{r+e}\right).$$

Si donc les wagons ont, par exemple, un jeu de deux pouces en tout sur la voie, c'est-à-dire si dans la position régulière du wagon sur les rails les mentonnets des roues se tiennent de chaque côté à la distance de 1 pouce du rail, la plus grande valeur de γ, c'est-à-dire sa valeur dans la partie la plus courbe de la ligne, devra toujours être moindre que 1 pouce. Par conséquent, en mettant pour r le rayon de courbure convenable à la courbe la plus prononcée du railway, et pour γ cette valeur de 1 pouce ou $\frac{1}{12}$ de pied qui est son *maximum*, l'équation donnera la *moindre* valeur qu'on puisse donner à l'inclinaison $\frac{1}{a}$.

Pour une ligne dont la courbe la plus prononcée

aurait 500 pieds de rayon, avec des roues de 3 pieds de diamètre jouant de 1 pouce sur la voie, on ne pourrait donner à la bande de roue une moindre inclinaison que $\frac{1}{12}$. Cette inclinaison pourra suffire à la rigueur. Une plus considérable satisfera à plus forte raison. On remarquera pourtant que la moindre valeur de $\frac{1}{a}$ correspond à la moindre valeur de y, c'est-à-dire à la moindre surélévation des rails, ce qui doit la faire préférer.

Sur la ligne de Liverpool toutes les courbes sont construites pour avoir 7424 pieds de rayon, c'est-à-dire qu'elles ont, chaque 66 pieds, une déviation de la ligne droite de 3 pouces. Il faut en excepter une seule située à l'entrée de la ville de Manchester, et qui a 858 pieds de rayon.

On a déjà dit que sur cette ligne les bandes de roue ont une inclinaison de $\frac{1}{7}$. Dans le passage des courbes aux plus grandes vitesses, on ne voit jamais le mentonnet des roues frotter contre le rail. Lorsque les rails sont boueux, la trace qu'ils laissent sur la roue est toujours à quelque distance de ce mentonnet. Cette inclinaison de $\frac{1}{7}$ remplit donc le but auquel elle est destinée; le calcul montre même qu'une moindre aurait suffi.

Quant à la disposition du railway dans les courbes, le rail extérieur a toujours une petite surélévation, convenablement adaptée en général à la courbure de la ligne; cependant on remarque plusieurs passages de courbes, où le train éprouve in-

variablement une réduction de vitesse. C'est, par exemple, la courbe de Chatmoss et celle qui est située entre Newton et Parkside, où par conséquent la surélévation adoptée n'est pas celle qui convenait.

ARTICLE II.

DES PENTES.

Les pentes sont un grand obstacle au mouvement sur les railways.

Dès qu'ils parviennent à ces pentes, les trains offrent un surplus considérable de résistance, en raison de la gravité de la masse totale en mouvement sur le plan. Nous avons eu plusieurs occasions de calculer ce surcroît de résistance, qui dépend du degré d'inclinaison de la pente à gravir (chap. V, art. V, § 5), ce qui nous dispense d'y revenir ici.

En traitant du combustible, nous verrons que les pentes du railway de Liverpool, qui à l'œil paraissent totalement insignifiantes, obligent cependant les machines à un surplus d'ouvrage qui est le sixième de leur service régulier sur niveau. On voit combien c'est une condition importante dans l'établissement d'un railway, que d'y maintenir un niveau aussi parfait que possible. Il arrive fréquemment qu'en évitant de niveler une partie du chemin, c'est-à-dire de creuser une montagne ou de remblayer une vallée, on croit faire une économie. On se trompe bien, car le plus souvent

on n'économise un fonds de premier établissement qu'en se soumettant à un accroissement de dépense annuelle beaucoup plus grand que ne serait l'intérêt du capital économisé; d'où résulte un surcroît réel de dépense, au lieu d'une économie. Ce surcroît de dépense peut même aller jusqu'à paralyser entièrement tous les avantages de l'entreprise.

Non-seulement il résulte de la conservation des plans inclinés, qu'on ne peut baisser convenablement le prix des transports; mais, ce qui est bien plus important, il en résulte encore de fréquents accidents en descendant ces pentes rapides, et leur moindre inconvénient est de détruire la confiance dans la sûreté des transports. On doit donc se convaincre que le but de l'établissement d'un railway n'est pas de se donner une route unie seulement, mais bien une route unie et de niveau. C'est d'ailleurs le moyen d'y appliquer utilement l'emploi des locomotives.

Lorsque cependant ces plans inclinés n'ont pu être évités, et qu'on ne veut pas se servir pour leur passage de machines stationnaires, qui forment toujours une interruption dans le service, il n'y a que deux moyens à employer. Il faut régler les charges de manière qu'elles ne soient pas au-dessus des forces des machines en montant le plan, ou il faut faire aider ces machines par une ou plusieurs autres selon la nécessité.

Sur le railway de Liverpool, les trains de diligences n'étant jamais très-pesants, sont rarement

au-dessus des forces des machines sur les parties les plus inclinées de la ligne, savoir, sur les deux pentes à $\frac{1}{98}$ et $\frac{1}{89}$. Aussi, la plupart du temps, les machines montent ces plans inclinés sans renfort; et durant le reste de leur trajet, sur les parties de niveau ou descendantes de la ligne, elles règlent leur vitesse en fermant partiellement le régulateur.

Pour les trains qui sont trop pesants pour une seule machine, ainsi que le sont d'ordinaire les trains de wagons, ils sont aidés pour le passage du plan par une machine de renfort stationnée au pied de la pente, et spécialement destinée à ce service. Cette machine est construite, en conséquence, pour une marche lente et une force considérable. Les cylindres ont 12 ou 14 pouces de diamètre, avec la course ordinaire de 16 pouces; et les roues ont 4 pieds 6 pouces seulement. En outre, pour avoir plus d'adhérence, le poids de la machine est de 12 tonnes, et les quatre roues sont couplées. Ces machines de renfort, travaillant moins que les autres, exigent en général beaucoup moins de réparations.

Sur le railway de Darlington, les pentes sont trop nombreuses pour qu'on puisse placer un renfort à chacune. On est donc obligé de limiter la charge de la machine à ce qu'elle peut tirer sur la plus inclinée de ces pentes.

Les machines locomotives acquièrent néanmoins un surcroît considérable de force dans le moment

de leur passage sur un plan incliné, par la raison que, dans ce moment, leur vitesse se trouvant aussitôt considérablement réduite, les cylindres consomment une moindre quantité de vapeur. Comme leur feu, violemment excité par la rapidité de leur course précédente, continue d'en fournir la même quantité, il faut que celle-ci s'échappe en grande partie par la soupape. Mais le passage de la soupape se trouve trop rétréci pour l'émission libre de toute cette vapeur. D'ailleurs, le ressort qui presse sur cette soupape oppose d'autant plus de résistance que la vapeur tend à le soulever plus haut, pour se créer un passage plus large. Ainsi, il arrive que la vapeur, ne pouvant s'échapper aussi promptement qu'elle se produit, augmente de pression dans la chaudière.

Cette augmentation de pression dépend évidemment de plusieurs circonstances : la grandeur de la soupape, la force de vaporisation de la chaudière, l'excitation antérieure du feu, et enfin la longueur du levier au bout duquel agit le ressort de la soupape. Dans certaines machines cet accroissement peut monter à 10 lb. par pouce carré, comme nous l'avons fait remarquer en traitant de la pression.

Dans ce cas, si la pression effective habituelle de la machine est de 50 lb. par pouce carré, elle pourra, dans l'instant de la montée, s'élever à 60^{lb}, c'est-à-dire s'accroître de $\frac{1}{5}$, ce qui est considérable. On doit donc en tenir compte quand on veut cal-

culer la charge que les machines seront capables de tirer sur ces plans. Mais il faut faire attention que ce moyen ne sera efficace que pour les pentes qui n'ont pas trop d'étendue, parce que le feu cessant ensuite d'être excité au même degré, il y a réduction dans le surplus d'effet. Il faudra toujours en outre que le poids de la machine donne une adhérence suffisante de la roue sur le rail, comme nous allons l'expliquer dans le chapitre suivant.

Enfin, il y a encore une autre circonstance dans laquelle les machines ont à exercer un surcroît d'effort. C'est au moment du départ du train. On a vu, en effet, que la puissance qui, le mouvement une fois créé, n'a plus besoin que de faire constamment équilibre à la résistance, doit la surpasser dans l'instant qu'elle doit mettre la masse en mouvement. La raison en est simple: dans le premier cas il n'y a besoin que d'entretenir la vitesse; dans celui-ci il faut la créer et l'entretenir. C'est ce surcroît d'effort de la part du moteur qu'on nomme improprement *force d'inertie*, parce qu'on l'attribue à une résistance particulière dans la masse.

C'est donc une chose difficile que le départ pour une locomotive qui doit tirer une forte charge. En ce moment, toutefois, la machine acquiert, comme sur les pentes, un accroissement de force considérable. La lenteur du mouvement produit deux effets: la pression dans le cylindre devient égale à la pression dans la chaudière, et celle-ci elle-même est

augmentée par l'effet de la balance de la soupape. Mais, malgré ce double avantage, la difficulté du départ reste encore telle pour les grandes charges, que nous conseillerions de faire toujours la ligne un peu descendante en ce point. On y gagnerait que les trains se mettraient plus facilement en mouvement au départ, et qu'il deviendrait inutile à leur arrivée d'employer pour les arrêter ces puissants freins, dont l'effet est certainement destructif autant pour les roues des wagons que pour les rails.

CHAPITRE HUITIÈME.

DE L'ADHÉRENCE.

—

§ 1. *Mesure de cette force.*

La série d'expériences, que nous avons rapportées plus haut sur la vitesse et la charge des machines, nous conduit encore à la résolution d'une question du mouvement des locomotives, dont nous n'avons pas parlé jusqu'ici. C'est l'adhérence de la roue sur les rails.

Nous avons fait observer, dans la description de la machine, que le pouvoir de la vapeur étant appliqué à la roue, la machine se trouve dans le cas d'une voiture que l'on fait avancer en poussant aux rais. Ainsi, comme dans cette action le seul point d'appui du moteur se trouve dans l'adhérence de la roue sur le rail, si cette adhérence n'était pas suffisante, la force de la vapeur ferait bien tourner les roues; mais celles-ci, glissant sur les rails au lieu d'y adhérer, tourneraient sur elles-mêmes, et la machine resterait en place.

Plus le train que tire la machine est considéra-

ble, plus elle doit employer de force : plus, par conséquent, elle doit trouver de résistance dans le point sur lequel elle s'appuie pour exécuter son mouvement. On avait donc lieu de craindre qu'avec des trains tant soit peu considérables, les machines se trouvassent dans l'impossibilité d'avancer ; non que la force manquât dans le moteur lui-même, mais dans le point d'appui de ce moteur.

Les expériences rapportées plus haut établissent la mesure de cette adhérence dans la belle saison de l'année. Dans toutes ces expériences, on n'en trouve pas une où le mouvement ait été arrêté ou même ralenti faute d'adhérence ; et cependant on y voit des charges qui s'élèvent à plus de 200 tonnes.

Si l'on prend, par exemple, la première expérience faite avec *Fury* le 24 juillet : pendant une partie de sa course cette machine tirait 244 tonnes. Puisque avec cette charge la machine avançait, il s'ensuit qu'il y avait adhérence suffisante. Or, le poids de *Fury* est 8t,20, et ce poids est tellement réparti que 5t,5 sont portées sur les deux roues de derrière, lesquelles sont les seules adhérentes, les roues de devant ne servant point à pousser la machine en avant, mais simplement à la porter. C'était donc un poids de 5t,5 qui tirait 244 tonnes.

Ainsi, nous voyons que l'adhérence d'un poids de 5t,5 est suffisante pour servir de point d'appui au mouvement d'une charge de 244 tonnes, ou d'un poids 44 $\frac{1}{2}$ fois aussi considérable que lui-même. Il en résulte qu'une machine ayant ses quatre

roues couplées, et qui par conséquent adhère par tout son poids, peut tirer une charge égale à 44 fois $\frac{1}{2}$ sa propre masse.

Nous avons dit que la machine *Fury* n'adhère que par deux de ses roues. Sur le railway de Liverpool cette disposition est générale pour toutes les machines de trajet, parce que l'adhérence de deux roues suffit aux charges qu'elles ont à tirer. Quant aux machines qui doivent servir de renfort sur les plans inclinés, elles travaillent par l'adhérence de leurs quatre roues, comme on l'a dit ailleurs. La machine *Atlas* est la seule employée au service de trajet, qui diffère des autres sous ce rapport. Cette machine a six roues, dont quatre de grandeur égale sont mises en mouvement par le piston. Les deux autres, plus petites et dépourvues de mentonnet, peuvent être soulevées hors de contact avec les rails par l'action de la vapeur sur un piston mobile. Cette disposition, qui empêche ces dernières roues d'être embarrassantes dans les tournants, est due à M. Melling, de Liverpool.

Nous venons d'exprimer l'adhérence en donnant la mesure de ses effets; mais on peut exprimer ce pouvoir lui-même d'une manière directe. La charge de 244 tonnes produisait une résistance, ou exigeait une traction de 1952 lb.; l'adhérence était donc au moins égale à 1952 lb., sans quoi la roue aurait tourné sans avancer. Or, le poids adhérent était de 5',5, ou, exprimé en livres, était 12320^{lb}; on voit donc que la force d'adhérence

était égale au $\frac{1}{8}$ environ du poids adhérent. En considérant que chaque 8^{lb} de force correspond à la traction d'une tonne sur niveau, cette expression revient exactement à la première.

En hiver, lorsque les rails sont gras et boueux par l'effet d'un temps humide, l'adhérence diminue considérablement. Cependant, à moins de circonstances tout à fait extraordinaires, les machines restent toujours en état de tirer une charge de quinze wagons ou 75 tonnes, convoi compris, c'est-à-dire 14 fois leur poids adhérent. Ou, si l'on veut, comme la résistance de 75 tonnes est de 600 lb., la force d'adhérence est toujours au moins $\frac{1}{20}$ du poids adhérent.

L'adhérence étant indispensable à la création du mouvement progressif, pour qu'une machine puisse tirer une charge donnée, il faut deux conditions: 1° que les dimensions et proportions de la machine et de sa chaudière la rendent capable de produire sur le piston, au moyen de la vapeur, la pression nécessaire, ce qui constitue la force proprement dite de la machine; et 2° que le poids de la machine soit tel qu'il y ait une adhérence suffisante de la roue sur le rail. Ces deux conditions de force et de poids doivent être en accord ensemble, car s'il y a beaucoup de force de vapeur et peu d'adhérence, celle-ci limitera l'effet de la machine et il y aura vapeur perdue; et s'il y a trop de poids pour la vapeur, ce poids deviendra dans tout le mouvement un inutile fardeau, puisque la li-

mite de charge sera marquée alors par la vapeur.

§ 2. *Des machines employées sur les routes communes.*

Les charges considérables qui ont été tirées par les machines, dans les expériences rapportées plus haut, doivent rassurer les personnes qui s'imaginent que les roues des locomotives sur les chemins de fer sont constamment sujettes à glisser, et qui s'efforcent de remédier à ce défaut imaginaire en voulant employer les machines sur les routes communes, sans savoir si l'adhérence y sera plus considérable.

Nous voyons ici une locomotive sur un railway tirer jusqu'à 244 tonnes par la force de sa vapeur, et ne pas tirer moins de 75 tonnes par son adhérence. Ses charges sont donc toujours comprises entre ces deux limites.

Sur une route commune, où la résistance de traction est très-considérable, il n'y a pas une des machines ci-dessus qui pût tirer par la force de sa vapeur un poids de 75 tonnes, bien loin d'atteindre jamais à 244 tonnes. Les charges resteront donc toujours et en toute circonstance au-dessous de ce qu'elles seraient sur un railway. Qu'importe en effet que le moteur gagne sous le rapport de l'adhérence, qui n'est qu'une force inerte, si le pouvoir de la vapeur ne le met pas en état de profiter de cet avantage?

Nous disons qu'une machine qui tire sur un railway une charge de 75 tonnes *au moins*, ne pourra jamais et *au plus*, tirer cette charge sur une route commune.

Considérons en effet la même machine, même poids et même pression, placée dans ces deux circonstances différentes.

Les expériences faites par M. Telford sur le tirage des voitures sur différentes sortes de routes, prouvent que sur le chemin de Liverpool à Holyhead, *le meilleur de toute l'Angleterre*, la force de traction nécessaire pour mouvoir un poids de 1 tonne est ainsi qu'il suit (1) :

1° Sur un pavé bien fait	33 lb
2° Sur une route ferrée, portant sur un fondement de pierres de quartz	65
3° Sur une route gravelée	147
4° Sur une route ferrée, portant sur une fondation de pavés bruts	46
5° Sur une route ferrée, portant sur un fond solide formé de ciment et de gravier .	46
Moyenne .	67 lb

Une tonne n'exige sur un railway que 8 lb de traction. Ainsi, sur la route de Holyhead, le tirage d'une tonne exige plus de 8 fois autant de force que sur un chemin de fer.

Il en résulte que la machine *Fury*, par exemple,

(1) *Report of the Holyhead road commissioners.*

qui, par l'effet de ses 65^{lb} de pression effective, pouvait tirer sur niveau jusqu'à 244 tonnes, ne pourrait en aucune circonstance, sur une route aussi bonne que celle de Holyhead, tirer à la même pression que le $\frac{1}{8}$ de cette charge ou 30 tonnes.

Ainsi, sa charge *maximum* sur route commune ne sera que les $\frac{2}{5}$ de sa charge *minimum* sur le railway.

Encore faut-il ajouter que la résistance passive de la machine, lorsqu'il s'agit de sa progression sur une route ordinaire, sera, comme la résistance des wagons, considérablement accrue. Elle devra donc pour se mouvoir elle-même consommer une part bien plus considérable de sa propre force, et ce sera autant de diminué sur les 30 tonnes qu'elle aurait pu tirer sans cela.

On voit que sur une route commune la résistance des voitures met encore plus promptement une limite à l'effet utile, que ne le fait l'adhérence sur un railway; et qu'en tout état de choses l'avantage, sous le rapport de la charge, reste à l'emploi des machines sur les chemins de fer.

Mais il est une autre considération qui séduit dans ce qu'on appelle voitures à vapeur, c'est-à-dire locomotives employées sur routes communes, c'est qu'on évite la dépense de construction du chemin lui-même. On estime par ce motif qu'on aura un avantage d'économie sur un railway. C'est en effet une grande dépense de moins que celle de la construction et de l'entretien du railway. On la

sauve. On évite complétement la mise de fonds qu'elle exige. Mais on perd en même temps le principal avantage de l'entreprise.

Qu'importe de donner des fonds, si c'est pour en tirer un bénéfice considérable? qu'importe de les sauver, si par là on se met dans la nécessité de dépenser plus que l'intérêt des fonds économisés?

C'est précisément le cas ici. La construction du railway est dispendieuse sans doute; mais c'est l'élément principal du succès. C'est de l'argent employé à aplanir la route, pour n'avoir ensuite aucune difficulté dans le transport, et commencer dès lors les bénéfices. Que dirait-on à un homme qui proposerait de passer à travers champs pour éviter de construire des routes? On lui répondrait qu'on perdrait bientôt en frais de transport ce qu'on aurait gagné en frais de construction.

Il en est de même des railways. S'il y a avantage à en construire pour y employer des chevaux, comme soixante années d'expérience et de prospérité l'ont assez prouvé, comment n'y en aurait-il pas à en faire pour l'usage des locomotives ou de tout autre moteur? Quel que soit l'avantage que ces machines puissent offrir sur routes communes, elles en donneront nécessairement un plus grand encore sur les railways.

On est frappé de voir une voiture à vapeur tirer deux ou trois diligences, avec 12 ou 15 voyageurs dans chacune. Cela paraît beaucoup. Mais les machines de Liverpool, à l'occasion des courses, ont con-

duit jusqu'à 800 personnes en un seul train, et à la vitesse de 15 milles ou plus de cinq lieues par heure.

On dira que les voitures à vapeur pourront tirer plus de trois diligences. Cependant on ne les a pas encore vues faire davantage. La plupart d'entre elles ne portent même que dix-huit à vingt voyageurs. Il est facile de voir ce qui met si promptement une limite à leur charge. Il n'y a pas de route commune où il ne se trouve des pentes malheureusement considérables. Comme il faut les franchir, force est de limiter la charge sur le passage le plus difficile à surmonter. Or, sur une pente à $\frac{1}{12}$, qui se rencontre trop fréquemment dans notre pays, le poids de trois diligences ou neuf tonnes, accru de celui de la machine, présente, en raison de la gravité, une résistance équivalente à celle qu'offriraient 45 tonnes, c'est-à-dire quinze diligences sur la même route de niveau. Une voiture à vapeur qui devrait tirer trois diligences sur un trajet un peu considérable, doit donc être capable de conduire quinze diligences chargées sur la même route de niveau. C'est tout ce qu'on peut supposer, même en admettant des améliorations, car c'est une force qui correspond à cent vingt diligences sur un railway. Nous devons donc prendre deux ou trois diligences au plus comme la charge régulière de ces machines.

Mais le nivellement, qui est le résultat des dépenses d'un railway, met les mêmes machines en état de tirer quarante diligences ou wagons chargés. C'est donc 12 fois, c'est donc 20 fois autant. Pour faire

le même service sur une route ordinaire, il faudra par conséquent 12 fois autant de machines en même temps sur la route, 12 fois autant de machinistes et de chauffeurs. En considérant le désavantage qu'il y a pour les machines, sous le rapport du combustible, à tirer des charges peu considérables, on peut prononcer hardiment que la dépense de combustible sera doublée. On en sera plus convaincu encore, en tenant compte de l'excès de force nécessaire pour mouvoir la machine elle-même sur une route couverte d'aspérités.

En outre, les réparations aux machines sont, même sur les railways, une considérable dépense. A Liverpool, sur les trente machines que possède la compagnie, dix seulement sont en service réel sur la ligne pour exécuter les transports. Le travail effectif est de huit à douze heures par jour, et les frais d'entretien de ces dix machines *maintenues en activité sur la route,* s'élèvent au delà de 18000 louis, ce qui fait plus de 1800 louis par an pour chacune. Ces dépenses se trouvent payées et deviennent la source de bénéfices, parce que sur un railway les machines conduisent des trains considérables; mais il n'en serait pas ainsi, si ces trains étaient réduits, ou, autrement dit, s'il fallait un plus grand nombre de machines pour exécuter le même service. De plus, si les machines, au lieu de glisser sans secousse sur la surface unie d'un railway, ont à courir sur le terrain inégal et raboteux de nos routes, à combien s'élèveront ces dépenses d'en-

tretien? Et déjà nous avons douze fois autant de machines à réparer.

Achat et intérêt de capital pour machines, personnel des hommes à payer pour leur conduite, combustible, réparations, tous ces articles auront bientôt absorbé les économies dont on se flatte.

D'ailleurs les principaux avantages de ces entreprises tiennent à la vitesse avec laquelle s'exécutent les transports. Quand les onze lieues qu'il y a de Liverpool à Manchester se faisaient en 4 heures, il y avait entre les deux villes 450 voyageurs par jour. Maintenant que, grâce aux locomotives, le trajet se fait en 1 heure ou 1 $\frac{1}{2}$ heure, il y a 1200 voyageurs par jour. C'est la vitesse qui a la plus grande part à la création de ce bénéfice. Il faut y renoncer si les machines ne peuvent courir plus vite que trois ou quatre lieues par heure.

Or, le poids de huit à neuf tonnes qu'ont les locomotives des railways, permet de leur donner une étendue de chaudière suffisante pour produire une certaine quantité de vapeur par minute, et par conséquent une certaine vitesse. Si la nature de la route oblige de réduire le poids de la machine à trois tonnes seulement, avec la nécessité de faire ses diverses parties encore plus fortes à cause des secousses sur une surface raboteuse, il y aura nécessairement moindre surface de chauffe dans la chaudière, et ainsi moindre vitesse possible. Aussi ne voit-on pas les voitures à vapeur dépasser trois ou quatre lieues à l'heure.

Enfin nous ajouterons comme dernière réflexion, que jusqu'ici le succès des machines sur routes communes continue, comme spéculation, de rester bien incertain, tandis que la prospérité des railways, quel qu'y soit le moteur, se démontre par leur extension sans cesse croissante. On peut perfectionner les voitures à vapeur; mais, nous le répétons, quels que soient les avantages qu'elles puissent alors offrir sur une route ordinaire, il est incontestable qu'en les plaçant sur un chemin de fer elles en offriront bien plus encore.

C'est parce que nous désirons vivement l'établissement des transports par la vapeur dans notre pays, c'est parce que nous connaissons toute l'utilité de ce mode de transport lorsqu'il est convenablement appliqué, que nous voulons en diriger l'emploi vers les entreprises où il peut être le plus profitable.

CHAPITRE NEUVIÈME.

DU COMBUSTIBLE.

—

§ 1. *Calcul de la consommation de combustible en raison de la charge.*

Il reste un article important à traiter. C'est celui du combustible.

D'après ce que nous avons vu précédemment, la vapeur, formée dans la chaudière à une pression quelconque, prend en passant dans le cylindre une pression exactement déterminée par la résistance sur le piston. Le mode d'action de la machine se borne ainsi à la transformation d'une certaine masse de vapeur tirée de la chaudière, et par conséquent à la pression de cette chaudière, en vapeur à une pression moindre et d'un volume proportionnellement plus grand.

Supposons une même machine, avec même pression dans la chaudière et parcourant la même distance avec deux charges différentes. Puisque la distance parcourue est la même, le nombre des tours de roue, et ainsi celui des coups de piston

ou des cylindres de vapeur dépensés pendant le trajet, sera le même dans les deux cas. Si la charge avait été la même, il y aurait eu en outre identité dans la nature de la vapeur dépensée. Comme cependant la charge diffère, il y aura bien même nombre de cylindres dépensés, mais le degré de la vapeur dans ces cylindres sera différent dans l'un et l'autre cas.

Ainsi, les dépenses de force motrice seront dans un cas un certain volume de vapeur à la pression R, par exemple, et dans l'autre cas le même volume à la pression R'.

La pression de la vapeur dans la chaudière étant supposée la même dans les deux expériences, sa température sera la même aussi. Comme cette température n'éprouve aucune réduction par le passage dans les cylindres, parce que les conduits et les cylindres eux-mêmes sont plongés dans la chaudière ou enveloppés par la flamme du foyer, la température de la vapeur dans les cylindres sera la même dans les deux cas considérés.

Ainsi, le volume et la température de la vapeur dépensée pendant le trajet seront les mêmes dans chacune des deux circonstances. La pression seule de cette vapeur dans le cylindre aura changé. Donc les masses ou poids de vapeur dépensés seront entre eux comme les pressions dans le cylindre.

Le poids de la vapeur n'étant autre que le poids de l'eau qui l'a produite, on voit que les poids

d'eau vaporisés durant le trajet seront entre eux comme les pressions dans le cylindre, ou, si l'on veut, comme les résistances sur le piston. Comme d'ailleurs cette eau est d'abord transformée en vapeur à la pression de la chaudière, c'est-à-dire dans chaque cas en vapeur au même degré de pression, il s'ensuit enfin que les quantités de combustible nécessaires pour cette vaporisation seront entre elles comme les pressions ou résistances totales sur le piston.

Ceci montre que la consommation de combustible est indépendante de la vitesse, et qu'elle ne dépend que de la résistance sur le piston.

Si dans les deux trajets considérés pour la machine, il arrive que la pression ne soit pas identiquement la même dans la chaudière, il y aura un peu plus de combustible dépensé pour le cas où la pression aura été la plus grande, parce que cette pression n'aura pu être plus grande qu'en vertu d'un accroissement de température. Mais, comme des degrés de pression fort éloignés l'un de l'autre sont produits par des températures au contraire fort rapprochées, la différence de consommation produite par cette circonstance sera de peu d'importance, et deviendra insensible dans la pratique.

Ce principe donnera la proportion de dépense de combustible de la même machine avec des charges différentes, et ainsi servira à connaître sa consommation en toute circonstance, dès qu'on aura sa consommation dans un cas déterminé.

Si, par exemple, Q et Q′ sont les dépenses de combustible avec deux charges données, la résistance sur le piston avec la première de ces charges étant exprimée par R et la résistance avec l'autre charge exprimée par R′, on aura

$$\frac{Q}{Q'} = \frac{R}{R'}.$$

Mais on a déjà calculé la résistance R sur le piston d'une machine. On a vu (chap. V, art. II) que M étant la charge exprimée en tonnes ou tonneaux, convoi compris; F le frottement de la machine sans charge; d le diamètre du cylindre; D celui de la roue; l la longueur de la course; enfin p étant la pression atmosphérique par unité de surface, n la résistance de la charge par tonne, et δ le frottement additionnel de la machine par tonne de la charge, on a

$$R = \left[F + (\delta + n) M\right] \frac{D}{d^2 l} + p.$$

Ainsi, pour une charge différente, conduite par la même machine, on aura

$$R' = \left[F + (\delta + n) M'\right] \frac{D}{d^2 l} + p,$$

donc;

$$\frac{Q}{Q'} = \frac{\left[F + (\delta + n) M\right] \frac{D}{d^2 l} + p}{\left[F + (\delta + n) M'\right] \frac{D}{d^2 l} + p}.$$

Cette expression peut s'écrire sous la forme :

$$\frac{Q}{Q'} = \frac{M + \left[\frac{\rho\, d^2 l}{(\delta + n)\, D} + \frac{F}{\delta + n}\right]}{M' + \left[\frac{\rho\, d^2 l}{(\delta + n)\, D} + \frac{F}{\delta + n}\right]}.$$

De sorte que l'expression $\left\{ \frac{\rho\, d^2 l}{(\delta + n)\, D} + \frac{F}{\delta + n} \right\}$ étant calculée une fois pour toutes pour les dimensions données de la machine, il n'y aura plus qu'à ajouter cette quantité à M et à M′ pour avoir le rapport cherché de Q à Q′.

Supposons, par exemple, qu'il s'agisse d'une machine telle que celles à cylindres de 11 pouces de Liverpool, savoir :

F, frottement de la machine sans charge	= 110 lb. ;
d, diamètre du cylindre	= 11 pouces ;
D, diamètre de la roue = 5^{pi}	= 60 pouces ;
l, longueur de la course.	= 16 pouces.

Comme en outre :

ρ, pression atmosphérique par pouce carré	= $14^{lb},7$;
n, résistance de la charge par tonne	= 8^{lb} ;
δ, frottement additionnel de la machine par tonne de charge	= 1^{lb}.

Dans ce cas, on aura

$$\frac{\rho\, d^2 l}{(\delta + n)\, D} + \frac{F}{\delta + n} = 65.$$

Dans le cas d'une machine de 12 pouces, et frottement 152 lb., telle que *Atlas*, cette constante aurait pour valeur 80.

Et enfin pour *Vesta*, cylindres 11 pouces $\frac{1}{2}$, et frottement 187^{lb}, la même constante devient 75.

Ainsi, dans le cas de ces diverses sortes de machines, on aura pour les quantités de combustible dépensées avec deux charges différentes M et M′,

$$\frac{Q}{Q'} = \frac{M + 65}{M' + 65},$$

ou

$$\frac{Q}{Q'} = \frac{M + 80}{M' + 80},$$

ou enfin

$$\frac{Q}{Q'} = \frac{M + 75}{M' + 75}.$$

Dans ces expressions, M exprime la charge, convoi compris; il faut donc ajouter le poids de ce convoi à celui de la charge, si on ne l'y avait pas compris d'abord.

Il est aisé de voir que le terme $\frac{F}{\delta + n} + \frac{\rho\, d^2 l}{(\delta + n)\, D}$ n'est autre chose que le frottement de la machine et la pression atmosphérique rapportés à la vitesse de la machine, et représentés par le nombre de

tonnes qui offriraient une résistance équivalente. Ainsi le nombre M de tonnes, plus la constante, n'est autre chose que la résistance totale surmontée par la machine. Par conséquent, le principe ci-dessus établi revient à ceci: que le pouvoir appliqué est en proportion de la résistance *totale* à vaincre.

Les constantes que représente ce terme varieront nécessairement selon l'espèce de mesures dont on se servira dans le calcul.

Si les mêmes machines ont leurs dimensions exprimées en mesures françaises, c'est-à-dire si l'on a

F,	frottem. de la machine sans charge.	50^{kg}, ou 68^{kg} ou 84^{kg}
d,	diamètre du cylindre.	$27^{cm},9$, ou $30^{cm},5$, ou $28^{cm},3$
D,	diamètre de la roue en centimètres.	$152^{cm},5$
l,	longueur de la course en centimètres.	$40^{cm},6$

Comme, en outre, dans le cas de l'emploi de ces mesures, on a

ρ,	pression atmosphérique en kg par cent. carré.	$1^{kg},033$
n,	résistance de la charge par tonneau.	3^{kg}, 64
δ,	frottement additionnel de la machine par tonneau de charge.	0^{kg}, 45

Alors la constante aura pour expression dans chacun des trois cas:

$$\frac{\rho\, d^2 l}{(\delta + n)\, D} + \frac{F}{\delta + n} = 65.... \text{ ou } 79.... \text{ ou } 74.$$

Ces nombres conviendront à la charge exprimée

en tonneaux français. C'est parce que celui-ci diffère très-peu de la tonne anglaise, que nous trouvons si peu de différence aussi entre les constantes.

§ 2. *Expériences sur la quantité de combustible consommée par les machines.*

La formule ci-dessus, d'une application bien facile, donnera la quantité absolue de combustible nécessaire à une machine en toute circonstance, dès qu'on connaîtra quelle a été la dépense de cette machine dans un cas déterminé.

Tout se réduira donc à faire une seule expérience sur le combustible consommé par la machine avec une charge connue, ce qui formera la donnée du problème.

Il est évident qu'entre deux machines différentes cette donnée première différera selon la construction particulière de chaque machine, et surtout selon la surface de chauffe de sa chaudière. Autant donc pour arriver à la connaissance de ce point de départ du calcul, que pour vérifier dans la pratique le principe théorique exposé ci-dessus, les expériences suivantes furent entreprises sur le railway de Liverpool à Manchester.

Dans ces expériences le convoi était d'abord soigneusement vidé de ce qui pouvait y rester; puis le coke pesé avec exactitude et mis dans le convoi. Le foyer de la machine était en outre rempli de combustible jusqu'au niveau du bas de la porte. A la fin de l'expérience, le foyer était

rempli de nouveau jusqu'à la même hauteur, et ce qui restait de coke dans le convoi était pesé avec le même soin qu'avant le départ.

Comme une machine qui monte seule le plan incliné avec son train, exerce un effort nécessairement plus grand que si elle était aidée en ce moment par une machine de renfort, nous avons noté si la machine était aidée ou non en montant le plan. Nous avons inscrit de même l'état du temps et l'état de température de l'eau dans le convoi, pour que ces circonstances puissent être prises en considération.

Digitized by Google

Expériences sur la quantité de combustible consommée

NOM DE LA MACHINE.	DATE de l'expérience.	NATURE ET POIDS DE LA CHARGE non compris le convoi.		TEMPS du trajet de 29 ½ milles.	DÉLAIS sur la route, non compris dans le temps ci-contre.
	1834		tonnes.		
ATLAS, de Liv. à Manch.	23 juillet.	40 wagons	190,00	3h 2′	15′
id. *id.* . . .	9 juillet.	25 wagons	123,13	1.48	12
id. *id.* . . .	4 août. .	25 wagons	122,64	1.58	»
id. *id.* . . .	14 juillet.	25 wagons	118,90	1.51	19
id. *id.* . . .	11 juillet.	25 wagons	117,61	1.41	5
id. *id.* . . .	28 juin. .	25 wagons	113,90	1.50	5
id. *id.* . . .	16 juillet.	20 wagons	94,66	1.25	23
id. *id.* . . .	17 juillet.	15 wagons	65,40	1.27	3
id. de Manch. à Liv.	31 juillet.	8 wag. charg. et 4 vid.	35,15	1.54	»
id. *id.* . . .	17 juillet.	3 wag. charg. et 8 vid. et 2 wag. sur partie de la route.	25,30	1.26	3
VESTA, de Liv. à Manch.	5 juillet.	20 wagons	92,75	1.42	5
id. de Manch. à Liv.	1er août.	5 wagons chargés et 5 vides.	28,15	1. 5 ½	»
VULCAN, de Liv. à Manch.	1er juill.	20 wagons	97,70	1.37	3
id. de Manch. à Liv.	22 juillet.	9 voit. de 1re classe	34,07	1.17	3
LEEDS, de Liv. à Manch.	15 août. .	20 wagons	83,34	1.35	»
id. de Manch. à Liv.	*id.* . .	8 wagons, dont 1 à moitié route.	32,01	1.17 ½	3
FURY, de Liv. à Manch.	24 juillet.	10 wagons	51,16	1.30	»
id. de Manch. à Liv.	*id.* . .	10 wagons	43,80	1.35	»
JUPITER, de Liv. à Manch.	16 juillet.	8 voitures 1re classe.	53,09	1.12	3
id. de Manch. à Liv.	*id.* . .	7 voitures *id* . . .	30,09	1.12	4
FIREFLY, de Liv. à Manch.	26 juillet.	8 voitures 1re classe	36,40	1.35	5
id. de Manch. à Liv.	*id.* . .	8 voitures *id.* . . .	36,40	1.18	5
		Totaux. . .	1605,65	»	»

par les machines locomotives avec des charges données.

Pression effective moyenne durant le trajet, en livres par pouce carré.	Coke de première qualité consommé durant le trajet.	Coke par tonne par mille sur *niveau*, renfort déduit sur le plan incliné.	Circonstances accessoires.		
			Renfort sur le plan incliné.	Température de l'eau dans le convoi.	État du temps.
lb.	lb.	lb.			
53,7	1596	0,28	Renfort.	Eau froide dans le convoi.	Temps calme.
53	1102	0,30	Renfort.	Eau tiède dans le convoi.	»
53	1224	0,34	Renfort.	Eau froide dans le convoi.	Temps beau et calme.
			Les bielles de connexion des roues de la machine sont trop serrées.		
61,5	1118	0,32	Renfort.	Eau froide dans le convoi.	Temps beau et calme.
53	1136	0,32	Renfort.	Eau tiède dans le convoi.	»
			Un piston trop lâche.		
53	1104	0,33	Renfort.	Eau un peu chaude dans le conv.	»
53,5	1081	0,39	Renfort.	Eau un peu tiède dans le convoi.	Temps calme.
54	1012	0,52	Renfort.	Eau très-chaude dans le convoi.	Temps beau et calme.
			L'essieu d'un wagon fumant et près de prendre feu pour être trop serré.		
30	881	0,73	Point de renf.	»	»
54,5	720	0,82	Point de renf.	Eau très-chaude dans le convoi.	Temps beau et calme.
53	916	0,33	Renfort.	Eau chaude dans le convoi.	Temps calme.
51	774	0,80	Point de renf.	Eau très-chaude dans le convoi.	Beau temps ; vent mod. en faveur du mouv^t.
			La machine est encore un peu roide ; elle sort de l'atelier de réparat.		
54,5	1071	0,37	Renfort.	Eau tiède dans le convoi.	Temps calme.
54,5	664	0,56	Point de renf.	Eau froide dans le convoi.	Temps beau ; vent très-léger contre le mouv^t.
54	897	0,36	Renfort.	Eau un peu tiède dans le convoi.	Temps beau et calme.
49	690	0,62	Point de renf.	Eau très-chaude dans le convoi.	Temps beau et calme.
60	806	0,46	Point de renf.	Eau froide dans le convoi.	Temps beau et calme.
59	746	0,49	Point de renf.	Eau froide dans le convoi.	Beau temps ; vent latéral assez fort par instants.
53	742	0,76	Renfort.	Eau presque froide dans le conv.	Temps calme et beau.
53	836	0,94	Renfort.	»	Beau temps ; vent mod. contraire au mouvt.
44	879	0,82	Renfort.	Eau à peu près froide dans le conv.	Temps beau.
			La machine n'est pas en bon état.		
49	870	0,81	Renfort.	»	Temps pluv. ; vent assez fort contre le mouvt.
»	20665	»	*La machine n'est pas en bon état.*		

MÊME TABLEAU

Expériences sur la quantité de combustible consommée

NOM DE LA MACHINE.	DATE de l'expérience.	NATURE ET POIDS DE LA CHARGE non compris le convoi.		TEMPS du trajet de 47,5 kilom.	DÉLAIS sur la route, non compris dans le temps ci-contre.
	1834		tonneaux.		
ATLAS, de Liv. à Manch.	23 juillet.	40 wagons	192,97	3h 2′	15′
id. *id.* . . .	9 juillet.	25 wagons	125,06	1.48	12
id. *id.* . . .	4 août. .	25 wagons	124,56	1.58	»
id. *id.* . . .	14 juillet.	25 wagons	120,76	1.31	19
id. *id.* . . .	11 juillet.	25 wagons	119,45	1.41	5
id. *id.* . . .	28 juin. .	25 wagons	115,68	1.50	5
id. *id.* . . .	16 juillet.	20 wagons	96,14	1.25	25
id. *id.* . . .	17 juillet.	15 wagons	66,42	1.27	5
id de Manch. à Liv.	31 juillet.	8 wag. charg. et 4 vid.	35,70	1.54	»
id. *id.* . . .	17 juillet.	3 wag. charg. et 8 vid. et 2 wag. sur partie de la route.	25,70	1.26	5
VESTA, de Liv. à Manch.	5 juillet.	20 wagons	94,20	1.42	5
id. de Manch. à Liv.	1er août.	5 wagons chargés et 5 vides.	28,59	1. 5 $\frac{3}{4}$	»
VULCAN, de Liv. à Manch.	1er juill.	20 wagons	99,23	1.37	3
id. de Manch. à Liv.	22 juillet.	9 voit. de 1re classe.	34,60	1.17	3
LEEDS, de Liv. à Manch.	15 août. .	20 wagons	84,64	1.35	»
id. de Manch. à Liv.	*id.*	8 wagons, dont 1 à moitié route.	32,51	1.17 $\frac{1}{2}$	3
FURY, de Liv. à Manch.	24 juillet.	10 wagons	51,96	1.30	»
id. de Manch. à Liv.	*id.*	10 wagons	44,49	1.35	»
JUPITER, de Liv. à Manch.	16 juillet.	8 voitures 1re classe.	33,61	1.12	3
id. de Manch. à Liv.	*id.*	7 voitures *id.* . . .	30,56	1.12	4
FIREFLY, de Liv. à Manch.	26 juillet.	8 voitures 1re classe.	36,97	1.35	5
id. de Manch. à Liv.	*id.*	8 voitures *id.* . . .	36,97	1.18	5
		Totaux. . .	1630,77	»	»

EN MESURES FRANÇAISES.

par les machines locomotives avec des charges données.

PRESSION effective moyenne durant le trajet, en kilogr. par centimèt. car.	COKE de première qualité consommé pendant le trajet.	COKE p. tonneau par kilom. sur *niveau*, renfort déduit sur le plan incliné.	CIRCONSTANCES ACCESSOIRES.		
			RENFORT sur le plan incliné.	TEMPÉRATURE de l'eau dans le convoi.	ÉTAT du temps.
kilog.	kilog.	kilog.			
3,77	724	0,079	Renfort.	Eau froide dans le convoi.	Temps calme.
3,72	500	0,084	Renfort.	Eau tiède dans le convoi.	»
3,72	555	0,094	Renfort.	Eau froide dans le convoi.	Temps beau et calme.
			Les bielles de connexion des roues de la machine sont trop serrées.		
4,33	507	0,088	Renfort.	Eau froide dans le convoi.	Temps beau et calme.
3,72	515	0,091	Renfort.	Eau tiède dans le convoi.	»
			Un piston trop lâche.		
3,72	501	0,091	Renfort.	Eau un peu chaude dans le conv.	»
3,76	490	0,107	Renfort.	Eau un peu tiède dans le convoi.	Temps calme.
3,80	459	0,146	Renfort.	Eau très-chaude dans le convoi.	Temps beau et calme.
			L'essieu d'un wagon fumant, et près de prendre feu pour être trop serré.		
2,11	400	0,202	Point de renf.	»	»
3,84	327	0,229	Point de renf.	Eau très-chaude dans le convoi.	Temps beau et calme.
3,72	415	0,093	Renfort.	Eau chaude dans le convoi.	Temps calme.
3,58	351	0,221	Point de renf.	Eau très-chaude dans le convoi.	Beau temps; vent mod. en faveur du mouv[t].
			La machine est encore un peu roide; elle sort de l'atelier de réparat.		
3,84	486	0,103	Renfort.	Eau tiède dans le convoi.	Temps calme.
3,84	301	0,157	Point de renf.	Eau froide dans le convoi.	Temps beau; vent très-léger contre le mouv[t].
3,80	407	0,101	Renfort.	Eau un peu tiède dans le convoi.	Temps beau et calme.
3,44	313	0,173	Point de renf.	Eau très-chaude dans le convoi.	Temps beau et calme.
4,22	366	0,127	Point de renf.	Eau froide dans le convoi.	Temps beau et calme.
4,15	338	0,137	Point de renf.	Eau froide dans le convoi.	Beau temps; vent latéral assez fort par instants.
3,72	336	0,211	Renfort.	Eau presque froide dans le conv.	Temps beau et calme.
3,72	379	0,261	Renfort.	»	Beau temps; vent mod. contraire en mouv.
3,09	399	0,227	Renfort.	Eau à peu près froide dans le conv.	Temps beau.
			La machine n'est pas en bon état.		
3,44	395	0,225	Renfort.	»	Temps pluv.; vent assez fort contre le mouv[t].
»	9464	»	*La machine n'est pas en bon état.*		

En examinant ces expériences, on trouve que la pression dans la chaudière, ni la vélocité, n'ont aucune influence sensible sur le résultat. C'est un fait que nous avait déjà indiqué la théorie.

On remarque aussi l'avantage qu'il y a sous le rapport du combustible à faire tirer aux machines, quand la chose est possible, des trains aussi considérables que leur force le permet. Par exemple, *Atlas*, en tirant une charge de 25 tonnes, a consommé 720 lb. de coke; et en tirant 190 tonnes ou une charge 8 fois aussi forte, cette machine n'a consommé que le double de coke. Cette différence tient évidemment, ainsi que nous l'avons expliqué plus haut, à la dépense de force nécessaire dans chaque cas pour surmonter les résistances de l'atmosphère, de la machine et de son convoi.

Il faut ajouter que dans ces expériences le coke employé était de première qualité, ou *Worsley-coke*. C'est du coke préparé exprès pour les fonderies. Lorsque les machines emploient celui qui provient comme résidu des fabriques de gaz hydrogène, elles en consomment environ 12 pour 100 de plus, sans compter les déchets résultant de la friabilité de ce combustible. En outre on a reconnu que les parties sulfureuses qu'il contient sont éminemment destructives des métaux. Par ce motif on y a renoncé complétement à Liverpool, malgré la modicité de son prix.

Lorsqu'on emploie de la houille de bonne qua-

lité, on estime qu'il en faut à peu près la même quantité que de bon coke; mais ce combustible a, sous le rapport de la conservation des machines, les mêmes inconvénients que le coke provenant de la distillation du gaz.

A l'égard de la distance parcourue par les machines dans ces expériences, on compte ordinairement la longueur du railway de Liverpool comme étant de 30 milles, et le transport comme exécuté sur niveau; mais si l'on veut être plus correct dans ce calcul, et déduire de ces expériences quelle serait réellement la dépense correspondante de coke sur un railway qui serait entièrement de niveau, on ne peut compter ainsi.

La partie de la ligne parcourue par les locomotives est de 29 milles $\frac{1}{2}$. Si on la décompose en trois portions, on voit que 1 tonne portée d'un bout du railway à l'autre oppose les résistances suivantes, (*voy.* la section du railway, chap. V, art. V, § 5):

1t à 26 $\frac{1}{2}$ milles, sur niveau sensible.	1t à 26mil $\frac{1}{2}$
1t à 1 $\frac{1}{2}$ mille, en montant $\frac{1}{96}$ ou $\frac{1}{80}$, vaut (frottement et gravité) 4t tirées sur niveau à la même distance, ou bien 1t à 6 milles.	1t à 6
1t à 1 $\frac{1}{2}$ mille, en descendant par la seule force de la gravité.	» »
Total.	1t à 32mil,5

Ainsi, quand les machines montent le plan sans

renfort, le service qu'elles effectuent revient au transport de leur charge à la distance de $32^{mil},5$ sur niveau.

Si elles montent ce plan aidées d'une ou de plusieurs autres machines, leur part de la charge en montant n'est moyennement que le $\frac{1}{3}$ du tout sur le plan, et ainsi le service qu'elles ont rendu revient alors au transport de leur charge à 26,5 + 2 = 28,5 milles.

Ceci ne comprend pas le surplus de résistance dû à la gravité de la machine et de son convoi en montant le même plan. Comme leur poids moyen ensemble est de 13 à 14 tonnes, dont la gravité sur le plan équivaut à la résistance de 40 tonnes environ sur niveau, on voit que ce nouvel effort réclamé de la machine revient à tirer 40 tonnes à 1 mille $\frac{1}{2}$, qui est la longueur de la montée. Si donc le train lui-même est de 30 tonnes sans le convoi, comme c'est le cas pour les machines qui ne sont point aidées par des renforts, ce service équivaut à tirer ce train à 2 milles de plus que la longueur de la ligne. Si au contraire la charge est d'environ 60 ou 80 tonnes, comme c'est en général le cas pour les trains qui sont aidés à la montée, le tirage additionnel de 40 tonnes à 1 mille $\frac{1}{2}$ revient, comme on voit, à tirer la charge entière à 1 mille.

Ainsi, pour les trains qui n'ont pas de renfort au passage des plans inclinés, on doit compter la distance à laquelle le halage a été exécuté comme

étant de 34 milles $\frac{1}{2}$ *sur niveau;* et pour les machines qui sont aidées sur la montée, on doit compter que le service qu'elles ont rendu revient à transporter leur charge à 29 milles $\frac{1}{2}$ *sur niveau.* La différence qui existe entre ces deux services est de $\frac{1}{6}$ en sus pour les machines non aidées. C'est l'ouvrage exécuté par les machines de renfort, quand elles sont employées, et c'est le surplus de service que produit le passage des plans.

C'est d'après ces distances parcourues de 29,5 milles ou 34,5 milles qu'ont été déduits de l'expérience les nombres placés dans la 8me colonne du tableau précédent.

En examinant les résultats contenus dans ce tableau, on les trouve conformes à la règle déduite plus haut de la théorie de la machine.

Pour *Atlas,* la moyenne des expériences faites avec vingt-cinq wagons, donne 119 tonnes transportées par 1136 lb. de coke. Calculant donc sur cette donnée, et faisant l'addition de $\frac{1}{6}$ pour les cas où il n'y a pas eu de renfort, on trouve :

		Calcul.	Expérience.
Atlas. . .	119t et convoi 1136lb		
	190 et convoi.	1331lb.	1596lb
	95 et convoi.	1002	1081
	65 et convoi.	835	1012
	35 et convoi.	779	881
	25 et convoi.	719	720
Vesta. . . .	93 et convoi 916		
	34 et convoi.	668	774

		Calcul.	Expérience.
Vulcan. . .	98' et convoi 1071lb		
	34 et convoi.	773lb	664lb
Leeds. . . .	83 et convoi 897		
	32 et convoi.	697	690
Fury. . . .	51 et convoi 806		
	44 et convoi.	759	746

Si l'on tient compte des circonstances accessoires, on trouvera entre le calcul et l'expérience une coïncidence aussi complète que le permet la nature des expériences elle-mêmes ; car, outre les circonstances déjà mentionnées, le graissage des voitures, la qualité du coke et surtout la manière dont on remplit le foyer à la fin de l'expérience, sont sujets à produire de notables différences, malgré l'attention la plus scrupuleuse.

Les expériences que nous venons de donner font connaître la quantité de coke consommée pendant le trajet.

Cependant il est clair que dans l'intervalle d'un voyage à l'autre, la machine, quoiqu'en repos, ne cesse pas de consumer une certaine quantité de combustible, parce que son feu doit être entretenu pour le voyage suivant. Plusieurs de ces machines, il est vrai, comme *Atlas*, *Vesta* et quelques autres ont un appareil ou conduit particulier au moyen duquel, dans l'instant du repos, on peut faire passer dans le convoi la vapeur que continue d'élever la chaudière. Cette vapeur n'est

pas alors entièrement perdue, puisqu'elle se condense dans le convoi et sert à échauffer l'eau qu'il contient. Mais toutes les machines ne sont pas disposées à cet effet.

En outre, il se consomme en tous cas le matin une certaine quantité de combustible à échauffer toutes les parties de la machine et porter l'eau au point d'ébullition.

Il faut donc compter un surplus de consommation pour ces deux objets. C'est un renseignement pratique qui trouvera sa place plus loin.

Les recherches diverses auxquelles nous nous sommes livrés jusqu'ici donnent la solution de toutes les questions importantes pour l'application des machines locomotives à la traction des fardeaux sur les chemins de fer. Elles font connaître les moyens de mesurer la pression de la vapeur; de calculer les charges, les vitesses et les proportions des machines; d'estimer les résistances diverses qu'elles ont à vaincre; de tenir compte de l'influence des circonstances accessoires sur leur mouvement; et enfin, d'évaluer leur consommation de combustible.

Ici se termine naturellement la *théorie des locomotives*. Cependant, comme la connaissance de ces machines ne peut être complète qu'autant qu'on est en état de calculer également les dépenses qu'elles exigeront pour un halage déterminé, nous ajouterons à cet ouvrage les renseignements nécessaires à l'établissement de ce point important.

Digitized by Google

APPENDICE.

DÉPENSES DU HALAGE PAR LE MOYEN DES LOCOMOTIVES SUR LES CHEMINS DE FER.

Nous avons dit que pour compléter la connaissance des machines locomotives, il reste à les considérer comme spéculation, c'est-à-dire à examiner à combien se montent leurs dépenses de halage sur les chemins de fer. C'est cette recherche qui fera l'objet de cet appendice.

Nous tirerons les documents que nous avons à présenter à cet égard des deux plus belles entreprises de ce genre en Angleterre : celles de Liverpool et de Darlington. Elles auront d'ailleurs l'avantage d'offrir deux exemples d'un service fort différent : l'un rapide et principalement composé de voyageurs, l'autre lent et composé de marchandises seulement.

Les dépenses de halage propres à l'emploi des locomotives se bornent à l'entretien des machines, l'entretien du railway et la consommation de combustible. Il y a bien d'autres dépenses encore, mais elles ne donnent lieu à aucune discussion raisonnée, et il suffira d'en trouver le montant dans les états détaillés que nous réunirons à la fin de cet appendice.

§ 1er. *Frais d'entretien des machines.*

Parmi ces dépenses, celle qui doit naturellement fixer d'abord notre attention est celle de l'entretien des machines.

Avant d'entrer dans des calculs à cet égard, il est nécessaire de dire que ce qu'on appelle réparations aux machines, n'est autre choso que leur complète reconstruction; c'est-à-dire que quand une machine entre en réparation, à moins que ce ne soit pour quelque petit dérangement accidentel, on la met en pièces et l'on en construit une autre à laquelle on donne le même nom qu'à la première, en employant à sa construction toute pièce de cette première machine, qui est encore susceptible d'un bon service. Il résulte de ceci qu'une machine refaite, ou si l'on veut réparée, est littéralement une machine neuve. Ainsi les réparations aux machines s'élèvent à des sommes considérables, mais elles comprennent le renouvellement de ces mêmes machines.

D'après les tableaux réunis à la fin de cet ouvrage, on voit que dans l'année qui s'est écoulée du 30 juin 1833 au 30 juin 1834, les réparations aux machines du railway de Liverpool ont coûté :

Du 30 juin au 31 décembre 1833.

	Lst	s	d	Lst	s	d
Matériaux pour réparations.	3755	3	7	8769	12	2
Ouvriers	4401	4	10			
Réparations hors de l'établissement.	613	3	9			

Du 31 décembre 1833 au 30 juin 1834.

Matériaux.	4140	19	6	9573	8	2
Ouvriers	5432	8	8			
				18343	0	4

Il s'agit maintenant de savoir quel a été l'ouvrage exécuté par ces machines durant cet intervalle de temps. Or, en se reportant aux mêmes tableaux de détail, présentés plus loin, on verra que les marchandises transpor-

tées sur la ligne pendant l'année ont été :

Entre Liverpool et Manchester.	139 328t
Sur partie de la ligne, ou moyennement sur 15 milles (1) 24 934t, ce qui équivaut, sur la totalité de la ligne, à.	12 467
Total. . . .	151 795t

On trouve bien encore, dans les tableaux dont nous venons de parler, d'autres transports exécutés, comme ceux destinés pour Bolton, et ceux de houille ; mais ce service est effectué par des machines étrangères à la compagnie. C'est pourquoi nous ne le comptons pas ici.

Le poids ci-dessus est celui des marchandises transportées ; mais il faut compter en outre le poids des wagons. Or, sur ce railway la charge moyenne d'un wagon est de 3t,5 et le wagon lui-même pèse 1t,5 ; ainsi l'on connaîtra le poids des voitures, qui ont servi au transport ci-dessus, en multipliant le nombre obtenu par le rapport $\frac{1,5}{3,5}$. Et comme de plus les machines doivent, faute de marchandises en retour, ramener moitié des wagons à vide dans une des deux directions, ou $\frac{1}{4}$ du tout, on aura pour le *poids brut*, tiré par les machines durant le cours de l'année :

Poids des marchandises.	151 795 tonnes.
Poids des wagons correspondants.	65 055
Poids des wagons ramenés à vide	16 264
	233 114

Ce service est celui des marchandises ; il faut y ajouter celui des voyageurs. Dans le cours de l'année, 415 747 voya-

(1) La distance à laquelle la compagnie porte les marchandises de Wigan et de Warrington, qui forment le fonds de cet article, est de 15 milles.

geurs ont été transportés d'une ville à l'autre (1) en 6570 voyages. C'est moyennement 64 voyageurs par train. Les diligences nécessaires pour ce nombre de voyageurs, en y comprenant les voitures vides mises en plus à chaque train, sont 5 voitures de première classe, ou 4 de seconde (2).

Le poids de 5 voitures de première classe, y compris une malle-poste, est.	27t,3
Le poids de 4 voitures de seconde classe, y compris une voiture fermée, est.	10t,4

Enfin, pour 13 trains de première classe, il y en a 16 de seconde. Ainsi, le poids moyen des voitures de transport, pour chaque 64 voyageurs, a été :

$$\frac{27,3 \times 13 + 10,4 \times 16}{13 + 16} = 18 \text{ tonnes.}$$

Par conséquent, le poids total, correspondant au transport des voyageurs, a été :

415 747 voyageurs, à 15 par tonne.	27 717t
Poids correspondant des diligences.	116 950
Effets des voyageurs, à $\frac{1}{4}$ de quintal par tête. .	5 197
	149 844t

Ainsi, le poids total définitif, tiré par les machines durant l'année, a été :

Poids brut pour marchandises.	223 114t
Poids brut pour voyageurs.	149 844
	372 958t

(1) Ce nombre est celui des voyageurs inscrits aux bureaux de la compagnie. Il ne contient ni les voyageurs déposés, ni ceux recueillis en route, qui se balancent mutuellement.

(2) Les voitures de première classe sont des diligences fermées contenant 18 personnes; elles pèsent 3t,65. Celles de seconde classe sont à 24 places et ouvertes; leur poids est de 2t,23. Enfin les malles-postes pèsent 2t,71 et portent 10 voyageurs. Il y a en outre à chaque voiture fermée une place en dehors.

Nous avons déjà montré dans cet ouvrage (chap. IX, § 2) qu'en tenant compte du surplus de résistance causé par la gravité au passage des plans inclinés de cette ligne, la charge doit être considérée comme portée à la distance de 34 milles et demi sur niveau. Ainsi, comme une tonne portée à 34,5 milles équivaut à 34,5 tonnes portées à 1 mille, le halage ci-dessus, évalué en tonnes portées à 1 mille revient à $372\,958^t \times 34{,}5 = 12\,867\,050$ tonnes brutes portées à 1 mille sur niveau.

Pour ce transport, les réparations aux machines ont coûté $18343^{lr}\ 0^r\ 4^d$; comme 1 livre sterling vaut 20 shillings, et 1 shilling 12 pence, cette somme, réduite en pence ou deniers, donne $4\,402\,324^d$. Par conséquent, les réparations, par tonne brute portée à 1 mille sur niveau, se sont élevées à

$$\frac{4\ 402\ 324^d}{12\ 867\ 050} = 0^d{,}342.$$

Pour exécuter ce service, les machines ont fait 6570 voyages en tirant des diligences, c'est-à-dire à la vitesse de 20 milles par heure, et 5086 voyages avec marchandises, ou à la vitesse de 12,5 milles par heure. La vitesse moyenne du halage a donc été, en milles par heure, de $16^{mil}{,}73$.

En monnaies et mesures de France, *les réparations aux machines du railway de Liverpool, par tonneau de poids brut porté à 1 kilomètre sur niveau, se sont élevées à* $2^{centimes}{,}026$; *la vitesse moyenne du halage étant de 27 kilomètres par heure.*

Nous avons dit ailleurs que la compagnie de Liverpool possède en ce moment trente machines locomotives. Il n'en faut pas conclure que ce nombre soit nécessaire pour exécuter le halage mentionné plus haut. Sur ces 30 machines un tiers environ se trouve inutile. Ce tiers est composé des plus anciennes, qui, construites dans le moment

de l'établissement du railway et dans un temps où l'on n'avait pas encore assez d'expérience à cet égard, se tronvent maintenant hors de proportion avec le service qu'on leur demande.

Les machines réellement en activité journalière sur la route, s'élèvent au nombre de 10 à 11, et avec un nombre pareil en réparation ou en réserve, on pourrait assurer complétement le service. C'est du reste ce qni arrive actnellement, puisque le surplus, an delà de ce nombre, est à peu près abandonné.

Nous compléterons ce que nons venons de dire snr les locomotives de Liverpool, en joignant ici un document qui montrera ce que ces machines sont capables d'exécuter dans un travail journalier, et les améliorations qu'elles ont éprouvées dans les dernières années à l'égard de la solidité de leur construction.

Service exécuté par les dix meilleures machines du railway de Liverpool à Manchester, durant les années 1831, 1832, 1833, *et pendant les douze premières semaines de* 1834.

ANNÉE.	NOM DE LA MACHINE.	DISTANCE TOTALE parcourue par la machine dans son service. en milles.	en kilomètres.	TEMPS TOTAL du service de la machine, soit en activité, soit en réparation.
1831.	Mercury	23 212	37 333	52 semaines.
	Jupiter.	22 528	36 253	44
	Planet.	20 404	32 836	52
	Saturn.	19 510	31 398	38
	Mars.	18 645	30 006	50
	Majestic	18 253	29 375	52
	North-Star. . . .	15 677	25 229	52
	Northumbrian. . .	15 607	25 117	52
	Phoenix.	15 405	24 791	52
	Sun.	13 434	21 620	37
	Total. . .	182 675	293 982	481
	Moy. par semaine.	380	611	
1832.	Vulcan.	26 033	41 928	52 semaines.
	Liver.	22 651	36 453	43
	Venus.	20 464	32 933	52
	Etna	20 399	32 829	52
	Saturn.	20 312	32 689	52
	Vesta.	17 739	28 548	52
	Victory.	17 082	27 490	52
	Planet	16 885	27 173	52
	Sun.	16 535	26 610	52
	Fury	15 603	25 110	52
	Total. . .	193 723	311 761	511
	Moy. par semaine.	379	610	

Suite du service exécuté par les dix meilleures machines du railway de Liverpool à Manchester, durant les années 1831, 1832, 1833, *et pendant les douze premières semaines de l'année* 1834.

ANNÉE.	NOM DE LA MACHINE.	DISTANCE TOTALE parcourue par la machine dans son service. en milles.	en kilomètres.	TEMPS TOTAL du service de la machine, soit en activité, soit en réparation.
1833.	Jupiter.	31 582	50 826	52 semaines.
	Ajax.	26 163	42 104	52
	Firefly.	24 879	40 038	39
	Liver.	23 134	37 230	52
	Pluto.	20 508	32 682	52
	Vesta	19 858	31 926	52
	Leeds.	19 364	31 163	48
	Saturn.	18 738	30 155	52
	Venus.	18 348	29 528	52
	Etna.	17 763	28 586	52
	Total. . .	220 117	354 238	503
	Moy. par semaine.	438	704	
1834.	Firefly.	8 542	13 747	12 semaines.
	Vulcan.	8 526	13 721	12
	Saturn.	7 290	11 732	12
	Liver.	7 080	11 394	12
	Sun.	7 080	11 394	12
	Etna.	6 557	10 552	12
	Leeds.	5 712	9 192	12
	Ajax.	4 890	7 870	12
	Venus	4 632	7 454	12
	Pluto.	4 246	6 833	12
	Total. . .	64 535	103 890	120
	Moy. par semaine.	538	866	

Parmi ces machines, *Liver* avait été en service pendant 107 semaines, avait parcouru 52 865 milles, ou moyennement 494 milles par semaine durant tout ce temps; la machine *Firefly* avait servi pendant 57 semaines, avait parcouru la distance de 33 421 milles, ou 586 milles par semaine, et aucune de ces deux machines n'avait encore, à l'époque dont il est ici question, exigé une réparation fondamentale (1).

Pour donner un exemple de la même dépense d'entretien des locomotives dans d'autres conditions de transport et avec une autre construction de machines, nous rapporterons ici le halage exécuté par le moyen des locomotives sur le railway de Darlington, durant la même année, savoir, du 30 juin 1833 au 30 juin 1834, et le montant des dépenses que ces machines ont coûté pendant le même intervalle de temps.

Sur ce railway le nombre des voyages de 20 milles, en descendant, exécutés durant le cours de l'année, a été de 5318 $\frac{1}{2}$. Dans chacun de ces voyages les machines ont tiré une charge, en houille ou marchandises, de 63t,6, ce qui a fait monter leur service total à

6 764 951 tonnes portées à 1 mille.

Mais, comme ceci ne comprend pas le poids des wagons de transport, et qu'outre ce service, qui se fait *en descendant*, il a fallu encore ramener les wagons vides *en remontant* la ligne, ce point exige quelque détail, pour en déduire l'ouvrage réellement exécuté par les machines.

Nous l'éclaircirons avant d'aller plus loin.

Lorsqu'un poids d'une tonne est tiré sur un railway de

(1) Presque toutes ces machines sortent des ateliers de M. R. Stephenson, auquel on doit de si grands perfectionnements dans leur construction. La machine *Liver* est l'ouvrage de M. Edward Bury, de Liverpool.

niveau, nous avons vu qu'il exige une traction de 8 lb. Mais si la ligne n'est pas toute de niveau, sur chaque pente *montante* la gravité du poids tiré sera une résistance additionnelle à surmonter, et devra par conséquent s'ajouter aux 8lb. de traction déjà nécessaires pour vaincre les frottements des wagons. Par la raison inverse, sur les pentes *descendantes*, cette gravité viendra au contraire en déduction de la force à exercer, et devra par conséquent être soustraite, au lieu d'être ajoutée.

Si cependant le même train, après avoir gravi un plan incliné, en descend un autre pareil, l'addition dans un sens étant précisément égale à la diminution dans l'autre, il s'ensuivra que la résistance définitive d'une tonne restera exactement la même que si le chemin eût été de niveau.

Ou bien, si le chemin a une inclinaison moyenne connue, dont il s'écarte tantôt en plus tantôt en moins, revenant cependant toujours à cette inclinaison moyenne, le même principe de compensation s'établira encore; et il suffira de calculer la traction nécessaire sur cette inclinaison moyenne.

Mais ce principe, qui n'est fondé que sur ce que la machine éprouve autant de soulagement en un point qu'elle éprouve de surcharge en un autre, cesse d'être vrai pour toutes les pentes où la gravité surpasse le frottement, c'est-à-dire sur les pentes plus inclinées que $\frac{1}{280}$. En effet, au delà de ce point la surcharge en montant continue de croître rapidement, tandis que la charge en descendant, déjà nulle pour le plan à $\frac{1}{280}$, ne peut décroître davantage, et il cesse d'y avoir compensation.

Cette remarque prouve que la considération de la gravité, sur la pente moyenne d'une ligne, ne donne la résistance réelle sur cette ligne, qu'autant qu'elle ne contient pas de pentes *descendantes* plus inclinées que $\frac{1}{280}$, ou qu'autant qu'on a d'abord séparé celles-ci.

En appliquant ce principe au railway de Darlington, on

trouvera, d'après la section de cette ligne (1), que sur sa longueur totale il y a huit pentes sur lesquelles la gravité surpasse le frottement. La longueur de ces huit pentes ensemble étant de $10^{mil},23$, qui est moitié du tout, on voit que pendant moitié de leur trajet en descendant, les machines de Darlington n'ont exactement aucune traction à exercer, et que les trains descendraient tout seuls. La moitié restant, étant praticalement de niveau ($22^{pi}\ \frac{1}{2}$ de chute sur 10 milles $\frac{1}{2}$), les machines ont sur cette portion le tirage d'une ligne de niveau, c'est-à-dire 8 lb. par tonne. Ainsi, leur tirage moyen, durant toute la descente, est de 4 lb. par tonne, ou, si l'on veut, leur service revient à tirer leur charge à moitié distance sur niveau. On voit ici combien on se serait trompé en s'en rapportant à la pente *moyenne* de toute la ligne; car, cette

(1) La partie de ce railway, parcourue par les locomotives, commence au pied du plan incliné de Brusselton, à la hauteur de 383 pieds 1 pouce au-dessus du quai de Stockton, où elle se termine, et suit les pentes ci-après :

milles		
0,46.	descente. . . . . à	$\frac{1}{311}$
0,06.	*id.*	$\frac{1}{325}$
0,92.	*id.*	$\frac{1}{144}$
1,45.	*id.*	$\frac{1}{121}$
2,25.	*id.*	$\frac{1}{328}$
1,25.	*id.*	$\frac{1}{135}$
1,01.	*id.*	$\frac{1}{352}$
1,76.	*id.*	$\frac{1}{135}$
0,20.	*id.*	$\frac{1}{396}$
1,75.	*id.*	$\frac{1}{1584}$
1,61.	*id.*	$\frac{1}{1408}$

pente étant de $\frac{1}{286}$, on en aurait naturellement conclu que pour tout le halage descendant le tirage était sensiblement nul.

En retournant donc au halage total de cette ligne, nous avons vu qu'il s'élève pour les objets transportés à

6 764 951 tonnes.

Ce nombre ne comprend pas le poids des wagons eux-mêmes. Comme ces wagons pèsent $1^t,30$ et que leur charge est de $2^t,65$, l'addition pour cet objet se trouvera en multipliant le nombre ci-dessus par le rapport $\frac{1,30}{2,65}$. Ainsi, le poids total porté *en descendant* la ligne est :

Poids des objets transportés.	6 764 951
Poids des wagons qui ont servi au transport.	3 318 656
Poids total tiré à 1 mille en descendant. . .	10 083 607^t brutes.

milles		
1,64.	descente.	$\frac{1}{204}$
0,23.	*id.*	$\frac{1}{715}$
2,09.	*id.*	$\frac{1}{2192}$
1,25.	*id.*	$\frac{1}{253}$
0,03.	niveau	
0,81.	descente. . . . . à	$\frac{1}{226}$
0,05.	*id.*	$\frac{1}{487}$
0,80.	*id.*	$\frac{1}{1584}$
1,16.	*id.*	$\frac{1}{104}$

Total. 20,78. Inclinais. moy. 383 pieds sur 109 692 pieds, ou $\frac{1}{286}$.

Outre cette ligne principale, il y a des branches latérales qui sont également parcourues par les locomotives, mais dont le nivellement n'a pas été pris. L'ensemble du parcours des locomotives forme une longueur de 24 milles. Le reste du railway, qui comprend 16 milles de plus, est servi par des chevaux et par des machines à vapeur stationnaires.

Digitized by Google

Nous avons vu que le transport de 1 tonne à 1 mille en descendant la ligne équivaut au transport de la même charge à $\frac{1}{2}$ mille *sur niveau*. Le halage ci-dessus rapporté au niveau représente donc :

5 041 803 tonnes brutes portées à un mille.

Pour évaluer le halage *remontant*, il est indifférent de conserver ou non la division que nous avons faite de la ligne en deux parties, le résultat est le même ; mais on trouvera plus simple de s'en tenir à l'inclinaison *moyenne* de $\frac{1}{286}$. Le calcul que nous avons à faire ne concernant que la ligne *remontante*, laquelle ne contient aucune pente descendante, et à plus forte raison aucune pente descendante plus inclinée que $\frac{1}{286}$, la division précédemment établie cesse d'être nécessaire.

En considérant donc que les trains remontants se composent de 24 wagons vides, pesant ensemble 31^t,2 ; qu'en outre, sur les pentes, la gravité de la machine et de ses convois d'approvisionnement est une résistance additionnelle qui n'aurait pas lieu sur niveau ; enfin que le poids de la machine est de 10 à 11 tonnes, et celui des deux convois, à moitié remplis, est de 4^t,5, ce qui forme en tout sur les pentes une masse à mouvoir de 46^t,2 ; on reconnaîtra que la résistance totale opposée par le train est :

Frottement des wagons, 31^{t}2 à 8 lb. par tonne. .	249^{lb},6
Gravité de la masse de 46^t,2 sur une pente à $\frac{1}{286}$	362
Résistance totale. . . .	611^{lb},6

Cette résistance, étant celle qui résulte d'un train composé de 31^t,2, fait par tonne 19^{lb},60, ou en nombres ronds 20 lb. Comme d'autre part on sait que, sur niveau, 1 tonne n'exige que 8 lb. de traction, on voit que la force nécessaire ici est deux fois et demie autant, ou, si l'on veut, on reconnaît que le transport de 1 tonne à 1 mille, *en remontant*

cette ligne, équivaut au transport de la même charge à 2,5 milles *sur niveau*.

Cela posé, nous avons trouvé que le halage des wagons de transport est de 3 318 656 tonnes à 1 mille en *remontant;* en le rapportant au niveau, il sera donc représenté par le même nombre multiplié par 2,5. C'est-à-dire qu'il sera de

8 296 640 tonnes brutes, portées à 1 mille sur niveau.

D'où suit enfin que le service total exécuté par ces machines et rapporté au niveau est :

Halage descendant, en tonnes brutes portées à 1 mille sur niveau	5 041 803
Halage remontant, mesuré de même.	8 296 640
Total.	13 338 443

Comme le nombre des tonnes de *marchandises*, ou de houille, qui ont produit ce tirage, est, ainsi qu'on l'a vu plus haut, de 6 764 951 tonnes, on voit qu'en raison du poids des wagons nécessaires et de la difficulté du halage remontant, le transport de six millions et demi environ de tonnes de marchandises produit réellement un tirage équivalent à celui de treize millions de tonnes sur niveau; c'est-à-dire, pour être plus exact, qu'en comparant ces deux nombres on reconnaît que le tirage réel exécuté par les machines peut se déduire du poids des objets transportés en multipliant ce dernier nombre par 1,9717.

Ce premier point établi, nous pouvons passer au montant des dépenses d'entretien.

Après avoir longtemps entretenu elle-même ses machines dans ses propres ateliers, la compagnie de Darlington s'étant décidée, pour éviter les détails, à en passer une adjudication, contracta en 1833 un engagement avec trois entrepreneurs.

D'après cet arrangement, qui est actuellement en vigueur, la compagnie paye $\frac{4}{10}$ de penny par tonne de *marchandise* portée à 1 mille; et pour ce prix, les entrepreneurs s'en-

gagent non seulement à entretenir les machines en bon état, fournissant main-d'œuvre et matériaux ; mais encore à défrayer toutes les dépenses courantes de halage, comme gages des machinistes, combustible, huile, graisse, etc., et à payer en outre à la compagnie un intérêt de 5 pour 100 du capital représentant la valeur des machines, et de tous les établissements mis à la disposition des entrepreneurs pour leurs travaux.

La somme totale payée par la compagnie pour cet objet, durant l'année écoulée du 30 juin 1833 au 30 juin 1834, a été de

$$11347^{lv}\ 1^{s}\ 9^{d};$$

et, en déduisant les dépenses pour loyer, intérêt de capital et frais de halage, dont le montant est connu, l'administration de la compagnie établit que la somme définitive, restant aux entrepreneurs pour les réparations des machines (barres de foyer comprises), s'élève, conjointement avec le bénéfice général sur tout le marché, à

$$5732^{lv}\ 18^{s}\ 5^{d}.$$

Cette somme, réduite en *pence* ou deniers, donne $1\ 375\ 901^{d}$. Elle a été dépensée pour le transport de 13 338 443 tonnes brutes à 1 mille sur niveau ; donc enfin la dépense par tonne brute, portée à un mille sur niveau, y compris le bénéfice sur l'ensemble du marché, se monte à

$$0^{d},103.$$

En monnaie et mesures de France, cette somme s'élève à $\frac{2}{3}$ *de centime ou* $0^{cent},66$ *par tonneau brut porté à* 1 *kilomètre sur niveau.*

Pour servir de complément à ce que nous venons de dire, et pour montrer sur ce railway, comme sur celui de Liverpool, le halage que les machines sont capables d'exécuter, nous rapporterons ici un tableau du service et des réparations des machines durant les cinq derniers mois de l'année 1833.

État du service des locomotives sur le railway de

NUMÉRO de LA MACHINE.	NOM DE LA MACHINE.	NOMBRE total des milles parcourus par LA MACHINE.	TONNES de houille portées à un mille en descendant, par LA MACHINE.	TONNES BRUTES portées à un mille sur niveau, y compris le poids des wagons et retour.
		milles.	tonnes.	tonnes.
1	Locomotion	5 300	146 011	287 896
2	Hope.	3 100	82 305	162 281
3	Black Diamond. . .	1 000	26 920	53 078
4	Diligence	80	1 906	3 758
5	Royal George . . .	700	23 733	46 794
6	Experiment	4 400	122 442	241 420
7	Rocket	3 940	109 512	215 925
8	Victory.	10 600	349 150	688 418
9	Globe	3 120	70 683	139 365
10	Planet	1 200	20 429	40 280
11	North Star	2 400	47 546	93 746
12	Majestic.	2 880	90 422	178 282
13	Coronation	2 940	97 687	192 609
14	William IV	4 060	134 440	265 074
15	Northumbrian . . .	4 480	143 885	283 698
16	Director.	5 860	202 492	399 253
17	Lord Brougham . .	4 780	155 729	307 051
18	Shildon	4 720	159 400	314 289
19	Darlington	6 180	200 110	394 559
20	Adelaïde.	3 700	126 390	249 202
21	Earl Grey.	7 960	276 462	545 098
22	Lord Durham . . .	6 480	213 737	421 424
23	Wilberforce. . . .	4 200	141 534	279 062
	Totaux. . .	94 080	2 942 925	5 802 562

Darlington, du 1er *juillet au* 1er *décembre* 1833.

NOMBRE de jours que la machine a été en activité.	NOMBRE de jours que la machine a été en réparation.	MONTANT des réparations faites à la machine pendant ce temps.	MONTANT des réparations par tonne brute, portée à un mille sur niveau.	OBSERVATIONS.
j.	j.	L st. s. d.	d.	
80	52	41. 19. 7	0,055	Chaudière à 3 tubes.
63	69	57. 5. 5	0,085	» à simple tube.
27	105	14. 0. 5	0,063	*id.*
2	130	13. 18. 3	0,889	Machine démolie.
11	121	161. 7. 8	0,828	Chaudière à 2 tubes.
70	62	53. 1. 2	0,053	*id.*
64	68	57. 0. 9	0,063	*id.*
107	25	58. 3. 10	0,020	*id.*
60	72	36. 4. 6	0,062	Chaudière à 120 tubes.
27	105	53. 7. 5	0,318	» à 88 tubes.
55	77	32. 5. 10	0,083	*id.*
47	85	131. 2. 3	0,177	» à 104 tubes.
52	80	46. 16. 2	0,058	*id.*
55	77	78. 19. 8	0,072	*id.*
59	73	67. 14. 11	0,057	*id.*
91	41	107. 19. 11	0,065	» à tub., mod. de Napier.
62	70	62. 5. 10	0,049	» à 104 tubes.
63	22	49. 16. 3	0,038	» à 3 tubes.
88	44	45. 0. 6	0,027	*id.*
71	61	90. 11. 7	0,087	» à 104 tubes.
110	22	14. 19. 6	0,007	» à 3 tubes.
84	48	67. 13. 8	0,039	» à 104 tubes.
55	9	51. 17. 11	0,045	*id.*
1403	1518	1593. 13. 0	0,058	»

MÊME TABLEAU EN

État du service des locomotives sur le railway de

NUMÉRO de LA MACHINE.	NOM DE LA MACHINE.	NOMBRE total des kilomètres parcourus PAR LA MACHINE.	TONNEAUX BRUTS portés à un kilomètre sur niveau par LA MACHINE.
		km	t.
1	Locomotion.	8 530	470 567
2	Hope.	4 989	265 249
3	Black Diamond.	1 609	86 757
4	Diligence.	129	6 142
5	Royal George	1 127	76 485
6	Experiment.	7 081	394 600
7	Rocket.	6 341	352 929
8	Victory	17 059	1 125 220
9	Globe	5 021	227 793
10	Planet.	1 931	65 838
11	North Star	3 862	155 229
12	Majestic.	4 635	291 408
13	Coronation.	4 731	314 820
14	William IV	6 534	433 265
15	Northumbrian	7 210	463 704
16	Director.	9 431	652 580
17	Lord Brougham	7 693	501 875
18	Shildon.	7 596	513 705
19	Darlington.	9 946	644 906
20	Adelaïde.	5 954	407 521
21	Earl Grey.	12 810	890 964
22	Lord Durham.	10 428	688 819
23	Wilberforce.	6 759	456 128
	Totaux. . . .	151 406	9 484 304

(1) La plupart de ces machines sortent des ateliers de M. T. Hackworth, de Shildon, près de Darlington. Le montant des réparations rapporté ici ne comprend que la main-d'œuvre, et non les matériaux

MESURES FRANÇAISES.

Darlington, du 1er *juillet au* 1er *décembre* 1833.

NOMBRE de jours que la machine a été		MONTANT des réparations faites à la machine pendant ce temps.	MONTANT des réparations par tonneau brut porté à un kilomètre sur niveau.	OBSERVATIONS.
en activité.	en réparation.			
j.	j.	fr.	centimes.	
80	52	1 058,21	0,225	Chaudière à 3 tubes.
63	69	1 443,68	0,544	» à simple tube.
27	105	353,44	0,407	*id.*
2	130	350,71	5,710	Machine démolie.
11	121	4 063,14	5,319	Chaudière à 2 tubes.
70	62	1 337,49	0,339	*id.*
64	68	1 437,79	0,407	*id.*
107	25	1 466,89	0,130	*id.*
60	72	913,16	0,401	» à 120 tubes.
27	105	1 345,36	2,043	» à 88 tubes.
53	77	814,01	0,531	*id.*
47	85	3 305,07	1,134	» à 104 tubes.
52	80	1 179,94	0,375	*id.*
53	77	1 991,00	0,460	*id.*
59	73	1 707,73	0,368	*id.*
91	41	2 722,35	0,417	» à tub., mod. de Napier.
62	70	1 570,24	0,313	» à 104 tubes.
63	22	1 253,67	0,244	» à 3 tubes.
88	44	1 134,99	0,176	*id.*
71	61	2 283,31	0,561	» à 104 tubes.
110	22	377,49	0,042	» à 3 tubes.
84	48	1 706,16	0,248	» à 104 tubes.
55	9	1 308,18	0,287	*id.*
1403	1518	35 131,01	0,370 (1)	

employés aux réparations, ces matériaux ayant été achetés et emmagasinés en bloc.

§ 2. *Frais d'entretien du railway.*

Les dépenses d'entretien du railway de Liverpool, pendant l'année que nous considérons, sont données dans les tableaux de détail rapportés plus loin. On doit déduire des sommes qui y sont portées les articles : *remblai*, et *rails neufs*. Le premier de ces articles n'est dû qu'à la nouveauté de la route, c'est-à-dire à l'affaissement graduel des parties remblayées, dont le tassement n'est pas encore complet ; et le second est un remplacement extraordinaire des rails sur une partie de la ligne.

En laissant donc de côté ces deux articles, les frais d'entretien du railway, durant l'année écoulée du 1er juin 1833 au 1er juin 1834, ont été

11 053$^{l.}$.2$^{s.}$.6$^{d.}$.

Durant le même temps les poids qui ont passé sur le railway, conduits soit par les machines de la compagnie, soit par des machines étrangères à cette administration, ont été :

Marchandises sur la totalité de la route.	139 328^{t}	214 051^{t}
— sur moitié de la route 24 934^{t}, ou sur la totalité.	12 467	
— entre Bolton et Manchester ou Liverpool 38 341^{t}, ou sur la totalité de la route.	19 170	
Houille sur moitié de la ligne 86 173, ou sur la totalité.	43 086	
Wagons correspondants $\left(\frac{1,5}{3,5}\right.$ du poids des objets transportés$\left.\right)$.		128 431
Wagons ramenés à vide $\left(\frac{1}{4}\right.$ du tout$\left.\right)$.		32 108
Voyageurs, effets et voitures, comme ci-dessus.		149 844
Total.		524 434

Ainsi 524 434 tonnes brutes ont passé sur chaque mille

du railway, non compris le poids des machines et de leur convoi.

Comme on a vu que la dépense d'entretien, pour les 30 milles de longueur du railway, a été 11 053^{lv},15, cela fait par mille 368^{lv},438, ou, réduit en pence, 88 425^{d}.

Par conséquent, la dépense par mille, pour chaque tonne portée, a été

$$\frac{88\ 425^{d}}{524\ 434} = 0^{d},16861.$$

Dans ce calcul, on n'a compté du railway que la longueur *utile;* c'est-à-dire qu'on a omis les lignes de déchargement, d'embranchement, etc., comme n'étant que des compléments nécessaires de la ligne principale.

Ce taux, réduit en mesures françaises, donne :

1^{centime},084 *par tonneau brut par kilomètre.*

Sur la ligne de Darlington, durant la même année, les dépenses d'entretien pour les 24 milles du parcours des locomotives ont été :

	l *s* *d*
Ouvriers.	4 253. 0. 0
Matériaux.	2 060. 0. 0
	6 313. 0. 0 (1)

(1) Les dépenses totales d'entretien de la ligne, durant l'année que nous considérons ici, ont été :

		l *s* *d*
Cantonniers. . .	pour les 24 milles de parcours des locomotives.	4 253. 0. 0
	pour les 16 milles servis par des chevaux ou des machines stationnaires.	1 067. 5. 0
Matériaux pour réparations. .	parcours des locomotives.	2 060. 0. 0
	halage des chevaux ou des machines stationnaires.	518. 3. 8

Le poids qui a passé sur cette partie du railway, durant le même temps, a été :

Marchandises ou charbons de terre, 6 764 951 tonnes portées à 1 mille, ou sur la totalité des 24 milles de parcours.	281 873^t
Wagons correspondants $\left(\frac{1,30}{2,65}\right.$ du poids des objets portés$\left.\right)$	138 277
Wagons remontant la ligne (même poids.	138 277
	558 427 (1).

Les dépenses pour la totalité des 24 milles ayant été de 6 313^{lr}, cela fait pour chaque mille 263^{lr}.04 ou 63 130^d. Ainsi les frais d'entretien de la route, par mille et pour chaque tonne brute portée sur le chemin, ont été

$$\frac{63\ 130^d}{558\ 427} = 0^d,11305.$$

On a de même ici omis les croisements de ligne et embranchements accessoires, comme ci-dessus.

Ce taux serait diminué sans doute, si les wagons de Darlington étaient suspendus, comme le sont ceux du railway de Liverpool.

En mesures et monnaie de France, cette somme revient à 0^{centime},726 *par tonneau brut par kilomètre.*

Cette dépense n'est, comme on voit, que les deux tiers

Report.	7898^{lr}	8^s	8^d
Entretien des ponts.	69.	17.	7
Entretien des clôtures et barrières.	280.	7.	11
Dépenses accidentelles.	467.	3.	7
Dépense totale.	8 715.	17.	9

Nota. La distinction entre le parcours des locomotives et le parcours des chevaux n'a pu être faite que par approximation, la compagnie ne gardant pas de comptes séparés à cet égard.

(1) Outre ce poids, il passe encore sur la ligne un petit nombre de diligences, que, depuis quelques mois, on fait tirer par le moyen des locomotives. Mais comme ce service est peu considérable, nous n'avons pas voulu en embarrasser le calcul.

de celle de Liverpool pour le même objet. La différence est due à la rapidité du mouvement des machines et des voitures qui passent sur ce dernier railway. Mais c'est surtout dans les frais d'entretien des machines que cet effet de la vélocité se fait sentir.

Il ne faut pas croire toutefois que la différence considérable qu'on remarque à cet égard entre les machines des deux compagnies, tienne exclusivement à la vitesse du mouvement. Cette vitesse y entre bien certainement pour la plus grande part; mais en outre, les conditions du transport y ont une influence non moins marquée. Nous voulons dire que les voyageurs formant le principal transport sur la ligne de Liverpool, leur sûreté exige qu'on prenne des machines un bien plus grand soin que lorsque le halage ne se compose que de houille, comme cela a lieu sur le railway de Darlington. Aussi voyons-nous les locomotives de Liverpool entretenues avec un soin, on pourrait même dire avec un luxe, dont celles de Darlington n'approchent en aucune manière. Pour expliquer complétement notre idée, nous dirons que le service du railway de Darlington est un service de *roulage*, et que celui de Liverpool est un service de *diligences*.

Il ne faut donc prendre les données présentées plus haut que chacune dans leur spécialité, c'est-à-dire l'une pour un mouvement lent, avec des machines de certaine construction et pour tirer des marchandises; l'autre pour un mouvement rapide, avec des machines d'une construction différente, que les premières ne pourraient remplacer, et pour tirer des voyageurs.

Il est à remarquer, avant de terminer cet article, que les réparations au railway consistent en remplacements des blocs de support, coussinets, clefs et fiches. Les rails eux-mêmes, étant en fer forgé, se rompent rarement. Quant à leur diminution graduelle de poids par l'usure, c'est un effet très-minime.

Le 10 mai 1831, sur la ligne de Liverpool, un rail en

fer laminé long de 15 pieds, nettoyé soigneusement, pesait 177 livres 10 onces et demie. Le 10 février 1833, le même rail levé par M. J. Locke, alors ingénieur de la ligne, et bien nettoyé comme auparavant, pesait 176 livres, 6 onces. Il avait ainsi perdu en 21 mois un poids de 18 onces et demie. Le nombre de tonnes brutes, qui avaient passé sur ce rail dans le même temps, était estimé à 600,000. On voit donc qu'avec ce tonnage et la vitesse du mouvement sur ce railway, la perte annuelle du rail n'était encore que $\frac{1}{288}$ de son poids primitif, de sorte qu'il faudrait plus de cent ans pour le réduire à moitié de sa force actuelle.

§ 3. *Frais de combustible.*

A l'égard du combustiblo, nous avons déjà, dans le chapitre IX de cet ouvrage, donné des expériences d'où l'on peut déduire la consommation de combustible d'apres la charge que les machines ont à tirer.

Cependant, comme dans l'intervalle des courses des machines le feu doit continuer d'être entretenu, et qu'en outre il y a toujours des déchets inévitables dans le service, on doit naturellement s'attendre à une augmentation de dépense sous ce rapport dans la pratique. C'est ce que les faits vont nous faire connaître d'une manière positive.

D'après les rapports de la compagnie du railway de Liverpool pour les deux semestres de l'année que nous considérons, savoir du 30 juin 1833 an même jour 1834, la dépense de combustible pour les locomotives a été

6 079.^{l} 15^{s}. 8^{d}.

Le nombre des voyages exécutés est de 11656, ainsi la dépense do combustible par voyage s'est montée à 10^{s},432, et comme le prix moyen du coke employé pendant cette année sur le railway, a été 23^{s},5, la consom-

mation de combustible, mesurée en poids, s'est élevée à 994^{lb},37 par voyage.

Nous avons vu (Appendice, § 1er) que le nombre total des tonnes brutes, tirées par les locomotives d'un bout du railway à l'autre dans le même nombre de voyages, a été

372 958 tonnes,

La charge moyenne des machines a été par conséquent de 32 tonnes.

Une charge de 32 tonnes, non compris le convoi, a donc exigé, d'après le fait, une consommation de coke de 994 lb. Ainsi, considérant que la charge a été effectivement tirée à 34 milles et demi, c'est 0^{lb},90 par tonne brute tirée à 1 mille sur niveau. Nos expériences spéciales (chap. IX, § 2) ne nous ont donné moyennement que 350 lb. de coke pour une charge de 32 tonnes. On reconnaît donc que, dans la pratique et avec la nature du service sur cette ligne, les pertes diverses se montent à près de deux fois la dépense du service actif.

Cet accroissement considérable tient non-seulement à la dépense nécessaire chaque matin pour allumer le feu, mais encore à la nécessité qu'il y a sur cette ligne d'entretenir pour le passage des plans inclinés des machines de renfort, dont le feu doit rester allumé tout le jour quoique ne servant qu'à de longs intervalles; au grand nombre de voyages que les machines font à peu près sans charge, et enfin aux longues heures d'attente entre les voyages. Toutes ces circonstances, hors celle des machines de renfort, sont à peu près inévitables dans un service de la nature de celui de Liverpool.

Digitized by Google

Sur le railway de Darlington les mêmes causes de perte n'existent pas, du moins au même degré.

D'après les notes soigneusement tenues par l'administration de cette compagnie pour servir de base à ses marchés, la quantité de houille moyennement consommée pendant un voyage d'une machine, c'est-à-dire pour conduire 24 wagons chargés à 20 milles en descendant, et les ramener vides à même distance en remontant, coûte aux machinistes $4^s.9^d\,\frac{3}{4}$, quand la houille revient à 5^s par tonne. Ainsi la dépense en poids est de 2157 lb.

La charge *utile* tirée par la machine se compose de $63^t,60$ de houille en descendant, et cette charge *utile* est nulle en remontant; moyenne $31^t,80$ portées à 40 milles en tout.

Ce poids, d'après ce que nous avons vu (Appendice, § 1) correspond à un poids *brut*, tiré sur niveau à la même distance de

$$31^t,80 \times 1,9717 = 62^t,70;$$

la consommation de houille par tonne brute portée à 1 mille sur niveau est donc de $0^{lb},86$.

C'est à peu près la même dépense que sur le railway de Liverpool, surtout en considérant qu'une tonne de houille de bonne qualité produit un peu plus de vaporisation qu'un pareil poids de bon coke (1).

Ce résultat pourra surprendre, car les chaudières des machines de Darlington sont généralement construites sur un principe moins économique dans l'application de la chaleur que celles de Liverpool; mais en considérant le service sur cette ligne, on se rendra facilement compte de cette circonstance. Sur le railway de Darlington, les ma-

(1) Les quantités de coke préparé en vase clos, et de houille de Newcastle, nécessaires pour convertir une même quantité d'eau en vapeur, à la même pression, sont entre elles à peu près comme les nombres 14 et 13.

chines ne partent jamais qu'à pleine charge ; c'est-à-dire qu'elles conduisent, comme on vient de le dire, un poids moyen de 62t,7 par voyage, et cette circonstance est, on le sait, favorable à la dépense de combustible. Si ces machines ne tiraient qu'une charge moyenne de 32 tonnes, comme celles de Liverpool, leur consommation relative serait certainement plus considérable. Il faut encore ajouter que, sur le railway de Darlington, les machines n'éprouvent pas de délais entre leurs voyages, et que l'uniformité de charge et de vitesse permet de ne leur donner que juste la production de vapeur nécessaire à leur mouvement. Il en résulte qu'on ne voit jamais à la soupape ce soufflement énorme qui enlève un quart de leur produit aux locomotives de Liverpool.

C'est à ces circonstances réunies que doit être attribué le résultat que présente ici la pratique.

§ 4. *Frais totaux de transport.*

Les autres dépenses du halage ne donnent lieu de notre part à aucune discussion séparée ; on en trouvera le détail dans les états suivants, relatifs à la compagnie de Liverpool. Mais leur ensemble fait connaître la dépense totale du transport par le moyen des locomotives, et c'est un point qui exige quelque détail, comme ceux qui précèdent.

D'après les tableaux relatifs à l'année dont nous nous occupons, on voit que les dépenses totales de la compagnie de Liverpool se sont élevées aux sommes suivantes :

1er semestre.	56 350lb.	1s.	9d
2e semestre.	60 092.	15.	11
	116 442.	17	8

Mais notre but étant de connaître les dépenses résultant du service des locomotives prises séparément, pour en comparer le montant avec le halage total qu'elles ont exécuté

nous devons déduire de cette somme les articles suivants :

		l.	*s.*	*d.*
1° Intérêt d'emprunt.	1er semestre.	5 140.	6.	4
	2e semestre.	5 546.	4.	0
2° Service de la machine stationnaire et du passage souterrain qu'elle dessert.	1er semestre.	1 307.	16.	6
	2e semestre.	986.	10.	2
3° Dépenses pour rails neufs, cet objet étant une dépense extraordinaire.	1er semestre.	150.	16.	3
	2e semestre.	3 153.	14.	5
4° Sur l'entretien de la route, rails neufs non compris, $\frac{1}{10}$ à déduire comme frais relatifs aux passages souterrains qui ne font pas partie du parcours des locomotives, et qui ont une longueur de 1 mille et demi sur 31 dont se compose la ligne totale. . . .				
	1er semestre.	627.	10.	0
	2e semestre.	619.	14.	0
5° Sur le reste des dépenses pour entretien de la route, déduire encore $\frac{2}{5}$ comme frais occasionnés par le passage des locomotives *étrangères à la compagnie*, avec leurs trains. Le transport effectué par les machines de la compagnie étant de 372 958 tonnes, portées sur toute la ligne, on a vu (Appendice, § 2) que le service des machines étrangères porte ce halage à 524 434 tonnes; ce qui montre que leur service est de 151 476 tonnes, ou $\frac{2}{5}$ de celui des machines de la compagnie. Cet article fait.	1er semestre.	2 258.	18.	0
	2e semestre.	2 231.	0.	0
Déduction totale à faire.		22 022.	9.	8
Reste pour frais relatifs au service des locomotives de la compagnie.		94 420.	8.	0

Cette somme, réduite en *pence* ou deniers, donne 22 660 900^d ; et comme le transport exécuté par les mêmes locomotives est 12 867 050 tonnes brutes portées à 1 mille, il s'ensuit enfin que, sur le railway de Liverpool, à la vitesse moyenne de 16^{mil},73 par heure, les frais totaux de halage par les locomotives s'élèvent à

1^d,68 *par tonne brute portée à* 1 *mille sur niveau.*

Digitized by Google

Cette donnée compreud toute nature de dépenses, voitures, loyers, bureaux, administration, etc.

En monnaie et mesures de France, cette donnée revient à

10^{centimes},81 *par tonneau brut par kilomètre sur niveau ; à la vitesse de* 27 *kilomètres par heure.*

Sur le railway de Darlington les dépenses de halage sont beaucoup moins élevées. On en a déjà indiqué la cause dans la vitesse du transport et dans la nature des objets transportés. Il faut encore y ajouter ici la différence considérable du prix du combustible, cette compagnie brûlant de la houille dont le prix ne s'élève qu'à 5 shillings par tonne, au lieu de 23 shillings et demi que coûte le coke employé par la compagnie de Liverpool. Mais le partage de cette ligne en plusieurs natures de service, soit par les locomotives, soit par les machines stationnaires, soit par les chevaux, ne permet pas d'en répartir les dépenses avec la même précision que ce qui précède ; c'est pourquoi nous n'entrerons pas dans le détail de ce calcul.

§ 5. *Bénéfices résultants.*

Après avoir examiné les dépenses, il est nécessaire de jeter un coup-d'œil sur les recettes. Avant de passer aux états détaillés des frais de tout genre de la compagnie de Liverpool, nous relèverons donc ici, sur les mêmes états, le montant des bénéfices qui ont été faits par cette compagnie depuis son origine. Cet aperçu montrera que, si le mode de transport dont il est ici question entraîne des dépenses considérables d'établissement, il produit aussi des bénéfices capables d'en indemniser promptement les entrepreneurs.

Le chemin a été ouvert au commerce le 16 septembre 1830, et depuis cette époque les dividendes, par action de 100 livres sterling, se sont élevés aux sommes ci-après :

	lb	*s*	*d*
31 Décembre 1830.	2.	0.	0
30 Juin 1831.	4.	10.	0
31 Décembre 1831.	4.	17.	8
30 Juin 1832.	4.	4.	8
31 Décembre 1832.	4.	8.	0
30 Juin 1833.	4.	7.	6
31 Décembre 1833 (outre un fonds de réserve de 4085*lb* 8*s*. 10*d*). . .	4.	15.	3
30 Juin 1834.	4.	15.	2
Total, du 16 septembre 1830 au 30 juin 1834, ou en 3 ans 9 mois et demi. . . . . *Lst.*	33.	18.	3

Cette somme fait 9 pour 100 par année, malgré le fonds de réserve que forme la compagnie, et malgré les dépenses extraordinaires inévitables au début d'une entreprise, qui, la première de son genre, a dû payer elle-même et payer chèrement son expérience, tandis que les railways futurs n'auront plus qu'à en profiter.

Outre cet intérêt considérable pour les capitaux employés, nous répéterons ici que les actions de ce railway, du prix original de 100 livres sterling, se vendent en ce moment, et après quatre années seulement d'établissement, au prix de 210*lb*; et que celles du chemin de fer de Darlington, qui n'a que neuf ans d'existence, rapportent 8 pour 100 d'intérêt et ont monté dans ce court intervalle de temps de 100*lb* à 300, qui est leur prix actuel.

Ce simple exposé des faits en dit plus que tous les raisonnements imaginables. C'est pourquoi nous n'y ajouterons aucune réflexion.

Nous serons heureux si les renseignements de dépense déjà présentés, et ceux que nous allons y joindre encore, peuvent être de quelque utilité aux personnes dont le dessein serait de s'engager dans ces belles spéculations, non moins avantageuses pour leur propre fortune que pour la fortune publique.

Nous terminerons cet appendice en donnant l'état détaillé des recettes et dépenses de la compagnie de Liverpool depuis son origine jusqu'à ce moment.

EXTRAITS

Des Rapports du Comité des Directeurs aux Actionnaires du chemin de fer de Liverpool à Manchester, depuis l'ouverture du chemin jusqu'au 30 *juin* 1834.

DEMI-SEMESTRE DU 16 SEPTEMBRE (*jour de l'ouverture du railway*) AU 31 DÉCEMBRE 1830.

	Argent d'Angleterre. *ls*	*s*	*d*	Argent de France. *f*	*c*
Profit net de la compagnie.	14 432.	19.	5	363 826,	28
Dividende payé par action de 100 *ls*, ou 2 521 fr. .	2.	0.	0	50,	42

SEMESTRE DU 1er JANVIER AU 30 JUIN 1831.

Profit net de la compagnie.	30 314.	9.	10	764 167,	59
Dividende pour le semestre, par action de 100 *ls*, ou 2521 fr.	4.	10.	0	113,	44

SEMESTRE DU 1er JUILLET AU 31 DÉCEMBRE 1831.

	tonnes.	tonneaux.
Marchandises entre Liverpool et Manchester.	52 224	53 041
id. sur partie de la route.	2 347	2 384
id. entre Liverpool et Bolton.	10 917	11 088
Houille de divers lieux, amenée par les machines de la compagnie.	7 198	7 311
id. amenée par des machines étrangères à la compagnie.	1 198	1 217
Nombre des voyageurs inscrits aux bureaux de la compagnie.	256 321	
Voyages de 30 milles exécutés par les machines de la compagnie, avec voyageurs.	2 944	. . . . . 5 392
avec marchandises.	2 298	
avec houille.	150	

Recettes.

	Argent d'Angleterre. *ls*	*s*	*d*	Argent de France. *f*	*c*
Voyageurs	58 348.	10.	0	1 470 849,	60
Marchandises.	30 764.	17.	8	775 521,	27
Houille.	695.	14.	4	17 537,	63
TOTAL.	89 809.	2.	0	2 263 908,	50

Dépenses.

	Argent d'Angleterre. *ls*	*s*	*d*	Argent de France. *f*	*c*
Bureaux	902.	3.	10	22 742	,43
Houille	60.	15.	5	1 531	,92
Menues dépenses	110.	0.	5	2 773	,41
Camionage	60.	17.	8	1 534	,75
Entretien du chemin	6 599.	12.	6	166 363	.33
Frais de direction	297.	19.	0	7 510	,73
Bureaux pour l'inscription des voyageurs	589.	5.	9	14 854	,76
Machines locomotives	12 203.	5.	6	307 620	,23
Annonces	59.	3.	4	1 491	,47
Intérêt d'emprunts	2 737.	7.	3	69 003	.44
Loyers	900.	5.	3	22 693	,82
Indemnités pour effets de voyageurs brisés ou perdus	156.	7.	5	3 941	,80
Ingénieurs résidents	625.	0.	0	15 755	,00
Dépenses pour transports de marchandises	10 450.	12.	3	263 439	,04
Impôts et taxes	2 763.	5.	1	69 656	,11
Machines à vapeur stationnaires	269.	4.	7	6 786	,73
Diligences	6 709.	7.	11	169 130	,46
Wagons	979.	19.	8	24 703	,42
Indemnités pour marchandises avariées ou perdues	786.	8.	2	19 823	,78
Surveillants employés sur la ligne	1 490.	14.	1	37 577	,69
Contentieux	98.	9.	10	2 482	,77
Mauvaises créances	175.	13.	6	4 428	,42
TOTAL	49 025.	18.	5	1 235 845	,51
Profit net du 1er juillet au 1er décembre 1831	40 783.	3.	7	1 028 062	,52
Dividende payé pour le semestre, par action de 100 *ls* ou 2521 *fr.*	4.	10.	0	113	,44
Profit net pour le semestre sur les diligences voyageant le dimanche, par action de 100 *ls.*		7.	8	9	,66

SEMESTRE DU 1er JANVIER AU 30 JUIN 1832.

	tonnes.	tonneaux.
Marchandises entre Liverpool et Manchester	54 174	55 022
idem. sur partie de la route	3 707	3 765
idem. entre Liverpool et Bolton	14 720	14 950
Houille de divers lieux, amenée par des machines de la compagnie	22 045	22 390
idem amenée par des machines étrangères à la compagnie	7 411	7 527
Voyageurs inscrits aux bureaux de la compagnie	174	122
Voyages de 30 milles exécutés par les machines de la compagnie, avec voyageurs	2 636	5 118
avec marchandises	2 248	
avec houille	234	

Recettes.

	Argent d'Angleterre. *ls*	*s*	*d*	Argent de France. *f*	*c*
Voyageurs	40 044.	14.	7	1 009	447,67
Marchandises	32 477.	14.	0	818	697,85
Houille	2 184.	7.	6	55	063,71
TOTAL	74 706.	16.	1	1 883	209,23

Dépenses.

		Argent d'Angleterre. *l.* *s.* *d.*	Argent de France. *f.* *c.*
Mauvaises créances		394. 5. 7	9 938,99
Service des diligences.	Gages des conducteurs et chargeurs 1104.4.6. — Charr. et charretiers, 254. 10. 5. — Omnibus et droit, 1082. 0. 7. — Ouvriers et matériaux pour réparations, 1777.9.4. — Gaz, huile, suif, etc., 228.14.6. — Fournitures de bureaux et dépenses diverses, 441. 1. 7.	4 888. 0. 11	123 217,84
Service des marchandises.	Employés, 1749.5.10. — Chargeurs, 3862 0.8. — Conducteurs au frein, 461.5.9. — Huile, cordages, etc., 461.12.6. — Camionage, 808.16.5. — Réparations aux camions, etc., 163. 14. 11. — Fournitures de bureaux et menues dépenses, 503. 10. 8.	8 010. 6. 9	201 924,61
Houille		26. 8. 10	666,54
Camionage dans la ville de Manchester		1 420. 4. 9	35 801,34
Frais de direction		308. 14. 0	7 781,71
Indemnités pour effets de voyageurs brisés ou perdus		101. 10. 9	2 559,63
Indemnités pour marchandises avariées ou perdues		288. 10. 3	7 272,82
Bureaux pour l'inscription des voyageurs (commis, 573. 13. 1. — Loyers et impositions, 106. 10. 0)		680. 3. 1	17 145,33
Ingénieurs résidents		520. 9. 0	13 119,50
Intérêt d'emprunt		5 966. 14. 1	150 409,71
Machines locomotives.	Coke et eau, 2957. 8. 0. — Huile, suif, chanvre, etc., 507. 3. 1. — Ouvriers et matériaux pour réparations, 5947.6.5. — Machinistes, 1170. 18. 8.	10 582. 16. 2	266 771,50
Entretien de la route.	Ouvriers, 3929. 8. 0. — Dés, dormants, coussinets, etc., 2668.12.3. — Remblai, 733. 0. 3.	7 331. 0. 6	184 800,43
Bureau central de la compagnie.	Appointements, 652.8.6. — Loyer et impositions, 77.9.2. — Fournitures de bureaux, 81. 10. 5.	811. 8. 1	20 453,89
Surveillance de la ligne, et portiers des barrières		1 356. 9. 11	34 194,55
Menues dépenses		75. 1. 0	1 891,86
Loyers divers		1 840. 1. 10	46 385,01
Machine stationnaire et service du passage souterrain.	Câble neuf pour le passage souterrain, 330.10.8. — Houille, 265.7.0. — Gages, 290. 9. 9. — Réparations, huile, suif, chanvre, etc., 165.8.9.	1 051. 16. 2	26 513,99
Impôts et taxes		1 109. 14. 9	27 974,27
Wagons.	Ouvriers pour réparations, 586.6.7. — Fer, bois, etc., 265. 0. 9. — Toile cirée, peinture, etc., 155. 10. 10.	1 006. 18. 2	25 382,15
	TOTAL	47 770. 15. 5	1 204 205,71
	Credits à déduire	1 112. 4. 1	28 036,45
	Reste	46 658. 11. 4	1 176 169,26

	Argent d'Angleterre.			Argent de France.	
	ls	*s*	*d*	*f*	*c*
Profit net du 1er janvier au 30 juin 1832 . . .	28 048.	4.	9	707 039	97
Dividende payé pour le semestre, par action de 100 liv. st., ou 2521 fr.	4.	0.	0	100	83
Profit net pour le semestre sur les diligences voyageant le dimanche, par act. de 100 l. st.		4.	8	5	88

SEMESTRE DU 1er JUILLET AU 31 DÉCEMBRE 1832.

	tonnes.	tonneaux.
Marchandises entre Liverpool et Manchester.	61 995	62 965
idem sur partie de la route	6 011	6 105
idem entre Liverpool et Bolton	18 836	19 131
Houille de divers points de la route à Liverpool ou Manchester	39 940	40 565
Nombre des voyageurs inscrits aux bureaux de la compagnie.	182 823	
Voyages de 30 milles exécutés par les machines de la compagnie, avec voyageurs	3 363	5 253
avec marchandises	1 679	
avec houille.	211	

Recettes.

	Argent d'Angleterre.			Argent de France.	
	ls	*s*	*d*	*f*	*c*
Voyageurs	43 120.	6.	11	1 086 977	44
Marchandises.	34 977.	12.	7	881 716	26
Houille.	2 804.	3.	4	70 687	43
TOTAL. . .	80 902.	2.	10	2 039 381	13

Dépenses.

Mauvaises créances.	81.	6.	0	2 049	41
Service des diligences. — Gages des conducteurs et chargeurs, 1173.19.6. — Charrettes et charretiers, 375.14.4. — Matériaux pour réparations, 464. 1. 9. — Ouvriers pour réparations, 613.18.1. — Gaz, huile, suif, etc., 232.11.7. — Droit sur les voyageurs, 985. 19. 1. — Fournitures de bureaux et menues dépenses, 414. 19. 7.	4 261.	3.	11	107 416	22
Service des marchandises. — Employés et commis, 1822. 13. 2. — Chargeurs, etc., 3925.7.4. — Gaz, huile, suif, cordages, etc., 296. 11. 7. — Réparations aux camions, atel., etc., 398.3.11. — Fournitures de bureaux et menues dépenses, 540. 13. 5. .	6 983.	9.	5	176 039	31
Houille.	27.	2.	10	684	19
Camionage à Manchester	2 744.	18.	7	69 194	18
Frais de direction	295.	1.	0	7 437	62

	Argent d'Angleterre			Argent de France.	
	l.	*s.*	*d.*	*f.*	*c.*
Indemnités pour effets de voyag. brisés ou perdus.	209.	15.	11	5 288	54
idem pour marchandises avariées ou perdues. .	150.	19.	11	3 806	31
Bureaux pour l'inscription des voyageurs (commis, 556. 3. 10. — Loyer et impositions, 75. 15. 2).	631.	19.	0	15 930	20
Ingénieurs résidents.	450.	0.	0	11 343	35
Intérêts d'emprunts	4 555.	15.	7	114 842	10
Machines locomotives. { Combustible et eau, 3848. 10. 8 — Huile, suif, chanv., etc., 661. 1. 9. — Matériaux pour réparations, 3723. 9. 7. — Ouvriers pour réparations, 3352. 16. 2. — Gages des machinistes et chauffeurs, 1060. 11. 6 . . . . . }	12 646.	9.	8	318 792	58
Contentieux	118.	3.	8	2 979	17
Entretien de la route. { Ouvriers, 3675. 16. 5. — Dés, dormants, coussinets, etc., 2355. 17. 1. — Remblai, etc. 846. 10. 9 . . . . . }	6 878.	4.	3	173 386	00
Bureau central de la compagnie. { Appointements, 623. 18. 0. — Loyer, 85. 0. 0. — Fournitures de bureaux, 18. 9. 0. . . . . }	727.	7.	0	18 335	04
Surveillance de la route	902.	16.	5	22 758	31
Menues dépenses	66.	2.	0	1 666	25
Locations diverses	1 246.	5.	0	31 415	47
Machine stationnaire, et service du passage souterrain. { Houille, 209. 15. 3. — Chauffeurs et conducteurs au frein, 316. 7. 5. — Réparations, gaz, huile, suif, etc., 326. 14. 7. . . . . }	852.	17.	3	21 498	97
Impôts et taxes.	3 483.	18.	2	87 822	36
Wagons. { Ouvriers, 583. 0. 5. — Fer, bois, etc., 350. 12. 10. — Toile cirée, peinture, etc., 31. 0. 0. . . . . }	964.	13.	3	24 317	21
TOTAL. . .	48 278.	8.	10	1 217 022	79
Profit net du 1er juillet au 31 décembre 1832.	32 623.	14.	0	822 378	34
Dividende payé pour le semestre, par action de 100 liv. st., ou 2521 fr.	4.	4.	0	105	87
Profit net pour le semestre sur les diligences voyageant le dimanche, par act. de 100 liv. st.		4.	0	5	04

SEMESTRE DU 1er JANVIER AU 30 JUIN 1833.

	tonnes.	tonneaux.
Marchandises entre Liverpool et Manchester	68 284	69 353
idem sur partie de la route	8 712	8 848
idem entre Liverpool ou Manchester et Bolton. .	19 461	19 765
Houille de divers points de la ligne à Liverpool ou Manchester	41 375	42 023

Nombre des voyageurs inscrits aux bureaux de la compagnie. . 171 421

Voyages de 30 milles exécutés par les machines de la compagnie, avec voyageurs. . . . . 3 262 } 5 506
avec marchandises. . . . . 2 244 }

Recettes.

	Argent d'Angleterre.	Argent de France.
	ls s d	*f c*
Voyageurs	44 130. 17. 2	1 112 450,64
Marchandises	39 301. 17. 3	990 721,20
Houille	2 638. 15. 9	66 518,56
TOTAL	86 071. 10. 2	2 169 690,40

Dépenses.

Annonces		50. 8. 7	1 271,22
Mauvaises creances		176. 18. 6	4 459,93
Service des diligences.	Conducteurs et chargeurs, 1150.4.0. —Charrettes, charretiers et entretien des chevaux, 401. 18. 6.—Matériaux pour réparations, 383.15.11. — Ouvriers pour réparations, 758. 10. 6.—Gaz, huile, suif, cordages, etc., 324. 4. 0.— Droit sur les voyageurs, 2466. 15. 4.— Fournitures de bureaux et menues dépenses, 236. 15. 6.—Impositions pour les bureaux et établissements, etc., 112. 18. 4.	5 835. 2. 1	147 091,30
Service des marchandises.	Employés et commis, 1703, 17. 6. — Chargeurs, conducteurs au frein, charretiers et chevaux, 4687.9.7.—Gaz, huile, suif, cordages, etc., 648. 4. 11.—Réparations aux camions, ateliers, etc., 405. 13. 1. — Fournitures de bureaux et menues dépenses, 336. 9. 0. — Impositions, assurance, etc. pour les bureaux et établissements, 798. 1. 8.	8 579. 15. 9	216 279,31
Houille		120. 16. 1	3 045,24
Camionage à Manchester		2 460. 16. 1	62 031,98
Frais de direction		252. 0. 0	6 352,42
Indemnités pour effets de voyag. brisés ou perdus		38. 1. 2	959,37
Indemnités pour marchandises avariées ou perdues		1 033. 18. 3	26 062,87
Bureaux pour l'inscription des voyageurs (employés et commis, 577. 19. 6. — Loyer et impositions, 102. 17. 1)		680. 6. 7	17 149,74
Ingénieurs résidents		441. 17. 4	11 138,58
Intérêts d'emprunts		5 367. 11. 9	135 306,15
Machines locomotives.	Achat et transp. du coke, 2795. 4. 5. — Chargeurs de coke et service des pompes à eau, 338. 16. 10.— —Gaz, huile, suif, chanvre, etc., 760. 15. 2. — Tubes de cuivre et de bronze, fer, bois, etc., pour réparations, 3290. 8. 8. — Ouvriers pour réparations, 4115.0.8. — Machinistes et chauffeurs, 892. 4. 4. — Réparations faites hors de l'établissement, 943.6.8. — Achat de deux machines neuves, *Leeds* et *Firefly*, 1580.0.0.	14 715. 16. 9	370 956,82

	Argent d'Angleterre. *ls* *s* *d*	Argent de France. *f* *c*
Entretien de la route. { Ouvriers, 3648. 18. 5. — Dés, dormants, coussinets, etc. 2052. 5. 11. — Remblai, et desséchement, 1013. 4. 11.. }	6 714. 9. 3	169 258,16
Bureau central de la compagnie. { Appointements, 624. 19. 0. — Loyer et imposit., 62. 18. 6. — Fournit. de bureaux, etc., 56 19. 5. }	744. 16. 11	18 776,08
Surveillants employés sur la ligne.	950. 4. 7	23 952,38
Menues dépenses.	70. 0. 0	1 764,56
Locations diverses.	601. 15. 8	15 169,76
Réparations aux clôtures et barrières.	296. 4. 2	7 466,82
Machine stationnaire et service du passage souterrain. { Houille, 155. 8. 1. — Chauffeurs et conducteurs au frein, 363. 8. 10 — Réparations, gaz, huile, suif, etc., 340. 15. 11. . . . . }	859. 12. 10	21 669,84
Impôts et taxes.	1891. 0. 7	47 669,07
Wagons. { Ouvriers, 598. 3. 1. — Fer, bois, etc., 320. 1. 4. — Cordes, peinture, etc., 82. 7. 3. . . . . }	1000. 11. 8	25 222,70
Camionage à Liverpool.	18. 4. 6	459,41
Total.	52 900. 9. 1	1 333 514,71
Profit net du 1er janvier au 30 juin 1833. . . .	33 171. 1. 1	836 175,69
Dividende payé pour le semestre, par action de 100 liv. st. ou 2521 fr.	4. 4. 0	105,87
Profit net sur les diligences voyageant le dimanche, par action de 100 liv. st.	3. 6	4,41

SEMESTRE DU 1er JUILLET AU 31 DÉCEMBRE 1833.

	tonnes.	tonneaux.
Marchandises entre Liverpool et Manchester.	69 806	70 898
idem sur partie de la route.	9 733	9 885
idem entre Liverpool ou Manchester et Bolton. . .	18 708	19 001
Houille de divers points de la route à Liverpool ou Manchester.	40 134	40 762
Nombre des voyageurs inscrits aux bureaux de la compagnie.	215 071	
Voyages de 30 milles, exécutés par les machines de la compagnie, avec voyageurs.	3 253	5 840
avec marchandises.	2 587	

Recettes.

	Argent d'Angleterre. *ls* *s* *d*	Argent de France. *f* *c*
Voyageurs.	54 685. 6. 11	1 378 507,92
Marchandises.	39 957. 16. 8	1 007 257,15
Houille.	2 591. 6. 6	653 22,12
Total.	97 234. 10. 1	2 451 087,19

Dépenses.

Annonces.	6. 10. 0	163,85
Mauvaises créances.	374. 10. 1	9 440,51

		Argent d'Angleterre. *l.* *s.* *d.*	Argent de France. *f.* *c.*
Service des diligences.	Conducteurs et chargeurs, 1168.4.6. — Charrettes, charretiers et chevaux, 361.1 7. .—Matériaux pour réparations, 689 12. 6.—Ouvriers pour réparatinns, 1041.1.3.—Gaz, huile, suif, cordes, etc., 196.4.11. —Droit sur les voyag.,3224.11.11. —Fournitures de bureaux et menues dépenses, 277. 4. 5. —Impositions pour les bureaux, ateliers, etc., 116. 0. 8.—Livrée des conducteurs, 64. 15. 0.	7 138. 16. 9	179 955,78
Service des marchandises.	Employés et commis, 1728, 16. 9. — Chargeurs, conducteurs au frein, charretiers, chevaux, etc. 5006. 6. 10.— Gaz, huile, suif, cordes, etc., 529. 17. 0.—Réparations aux camions, charrettes, ateliers, etc., 366. 9. 11.— Fournitures de bureaux et menues dépenses, 429. 5. 1.—Impositions et assurences pour les bureaux, etc., 456. 17. 7. — Sacs pour grains, 110. 3. 10. .	8 627. 17. 0	217 490,83
Houille.		82. 0. 9	2 068,01
Camionage à Manchester.		3 173. 18. 0	80 007.69
Frais de direction.		312. 18. 0	7 887,59
Indemnités pour effets de voyag. brisés ou perdus.		142. 4. 8	3 585.42
id. pour marchandises avariées ou perdues.		223. 10. 11	5 635,14
Bureaux pour l'inscription des voyageurs. (Employ. et commis, 602. 6. 8. — Loyer, 30. 0. 0). . . .		632. 6. 8	15 939.86
Ingénieurs résidents		319. 3. 4	8 045,55
Intérêts d'emprunts.		5 104. 6. 4	129 577,10
Machines locomotives.	Achat et transp. du coke, 3197.4.4. — Chargeurs du coke et service des pompes à eau, 348 8.5.—Gaz, huile, suif, chanvre, cordes, etc., 865. 14. 9.—Cuivre, bronze, fer, bois, etc., pour réparations, 3755. 3. 7.—Ouvriers pour réparations, 4401. 4. 10.— Machinistes et chauffeurs, 748.8.5.—Réparations aux machines hors de l'établissement, 613. 3. 9. . . .	13 965. 8. 1	352 039,83
Entretien de la route.	Ouvriers, 2937. 19. 2. — Pierres, dés, dormants, clefs, coussinets, etc., 2411.2.4.—Remblai et desséchem., 925.16.11.— Rails neufs, 150.16.3.	6 425. 14. 8	161 979,87
Bureau central de la compagnie.	Appointements, 607.2.0.—Impositinns et loyer, 75. 14. 3. — Fournitures de bureaux et impressions, 22. 7. 8. — Droits de timbre, 17. 2. 3.	722. 6. 2	18 207,94

	Argent d'Angleterre. *l.* *s.* *d.*	Argent de France. *f.* *c.*
Surveillance de la route.	1 022. 7. 6	25 772,02
Menues dépenses.	61. 19. 6	1 562,27
Locations diverses.	603. 10. 8	15 213,82
Réparations aux clôtures et barrières.	665. 3. 4	16 767,52
Machine stationnaire et service du passage souterrain. { Houille, 302. 6. 5. — Chauffeurs et Conducteurs au frein., 319.11.2. — Réparations, gaz, huile, suif, etc., 419.15.5.—Câble neuf, pour le passage souterrain, 266. 3. 6. }	1 307. 16. 6	32 967,65
Impôts et taxes.	3 409. 11. 0	85 947,94
Wagons. { Ouvriers pour réparations, 718. 19. 7. —Fer, bois, fonte, etc., 700. 9. 1.— Corde, peinture, etc., 28. 5. 2. — Toile cirée, 163. 6. 5. . . . . }	1 611. 0. 3	40 610,40
Camionage à Liverpool.	80. 17. 10	2 039,12
Contentieux.	300. 3. 9	7 567,13
TOTAL.	56 350. 1. 9	1 420 472,88
Profit net du 1er juillet au 31 décembre 1833.	40 884. 8. 4	1 030 614,31
Dividende pour le semestre, par action de 100 liv. st., ou 2521 fr.	4. 10. 0	113,44
Profit net pour le semestre sur les diligences voyag. le dimanche, par action de 100 liv. st.	5. 3	6,62
Fonds de réserve créé dans les six mois. . . .	4 088. 8. 10	103 061,43

SEMESTRE DU 1er JANVIER AU 30 JUIN 1834.

	tonnes.	tonneaux.
Marchandises entre Liverpool et Manchester.	69 522	70 610
idem sur partie de la ligne.	15 201	15 439
idem entre Liverpool ou Manchester et Bolton. .	19 633	19 940
Houille de divers points de la route à Liverp. ou Manch.	46 039	46 759

Voyageurs inscrits aux bureaux de la compagnie. 200 676

Voyages de 30 milles, exécutés par les machines de la compagnie, avec voyageurs. . . . . 3 317 } 5 816
avec marchandises. . . . . 2 499 }

Recettes.

	Argent d'Angleterre. *l.* *s.* *d.*	Argent de France. *f.* *c.*
Voyageurs.	50 770. 16. 11	1 279 831,63
Marchandises.	41 087. 19. 5	1 035 745,53
Houille.	2 925. 15. 11	73 753,47
TOTAL.	94 784. 12. 3	2 389 330,63

Dépenses.

Annonces.	16. 15. 0	422,23
Mauvaises créances.	75. 12. 3	1 906,04
Service des diligences. { Conducteurs et charg., 1167.11.10. — Charrettes, charretiers et chevaux, 359. 13. 0.—Matériaux pour réparations, 1007. 9. 7.—Ouvriers pour réparations, 1221. 15. 5. — Gaz, huile, suif, cordes, etc., 258 15. 6.—Droit sur les voyag., 3008. 1. 11. —Fournitures de bureaux et menues dépenses, 165.2.5. — Impositions, assurances, etc., pour les bureaux et ateliers, 65. 8. 11. . . . . }	7 353. 18. 7	185 377,86

		Argent d'Angleterre. *L s d*	Argent de France. *f c*
Service des marchandises.	Employés et commis, 1740. 14. 2. —Chargeurs et conducteurs au frein, entretien des chevaux, etc. 5397. 8. 5. — Gaz, huile, suif, cordes, etc., 708. 17. 4.—Réparations aux camions, ateliers, etc. 716. 2 8. — Fournitures de bureaux et menues dépenses, 290. 3. 2.— Impositions, assurance, etc., pour les bureaux et ateliers, 469. 6. 2.	9 322. 11. 11	235 004,02
Houille.		45. 1. 0	1 135,62
Camionage à Manchester.		2 988. 6. 2	75 329,27
Frais de direction.		289. 16. 0	7 305,28
Indemnités pour effets de voyageurs brisés ou perdus.		26. 3. 10	660,24
Indemnités pour marchandises avariées ou perdues.		645. 6. 0	16 266,72
Bureaux pour l'inscription des voyageurs. (Employés et commis, 615. 1. 11. — Impositions et loyers, 63. 1. 1.).		678. 3. 0	17 094,80
Ingénieurs résidents		352. 10. 0	8 885,82
Intérêts d'emprunts.		5 546. 4. 0	139 808,62
Machines locomotives.	Achat et transp. du coke, 2882. 11. 4. — Chargeurs du coke et service des pompes à eau, 386. 19. 5.— Gaz, huile, suif, chanvre, etc., 881. 18. 4.—Cuivre, bronze, fer, bois, etc., pour répar., 4140. 19. 6. —Ouvriers pour répar. 5432. 8. 8. — Machinistes et chauffeurs, 836. 14. 3.—Achat d'une machine neuve, 700. 0. 0.—Frais pour réparations aux ateliers, 380. 6. 4.	15 641. 17. 10	394 300,84
Contentieux.		100. 0. 0	2 520,80
Entretien de la route.	Ouvriers et menus matér., 4221. 2. 5. — Pierres, dés, dormants, etc., 1482. 18. 7.—Rails neufs avec leurs coussinets, cœurs, etc., 3153. 14. 5. —Rembtai et desséchement, 493. 2. 0.	9 350. 17. 5	235 716,72
Bureau central de la compagnie (appointements, 818. 14. 4. — Loyer et impositions, 58. 8. 0.) .		877. 2. 4	22 110,35
Surveillance de la route.		1 016. 18. 1	25 634,13
Menues dépenses.		60. 0. 0	1 512,48
Locations diverses.		363. 11. 11	9 165,52
Machine stationnaire, et service du passage souterrain.	Houille, 327. 12. 1.—Chauffeurs et conducteurs au frein, 385. 7. 0. — Réparations, gaz, huile, suif, etc., 273. 11. 1.	986. 10. 2	24 867,90
Impôts et taxes.		1 778. 16. 10	44 841,02

	Argent d'Angleterre. *ls*	*s*	*d*	Argent de France. *f*	*c*
Wagons (ouvriers, 773. 3. 8. — Fer, bois, etc., 728. 12. 4.—Cordes, peinture, etc., 109.19.2.— Toile cirée, 240).	1 851.	15.	2	46 679,12	
Entretien des clôtures et barrières.	644.	0.	11	16 235,11	
Camionnage à Liverpool.	80.	17.	6	2 038,70	
TOTAL. . .	60 092.	15.	11	1 514 819,21	
Profit net du 1er janvier au 30 juin 1834.	34 691.	16.	4	874 511,42	
Dividende pour le semestre, par action de 100 *ls*, ou 2521 fr.	4.	10.	0	113,44	
Profit net pour le semestre sur les diligences voyageant le dimanche, par action de 100 *ls*.		5.	2	6,51	

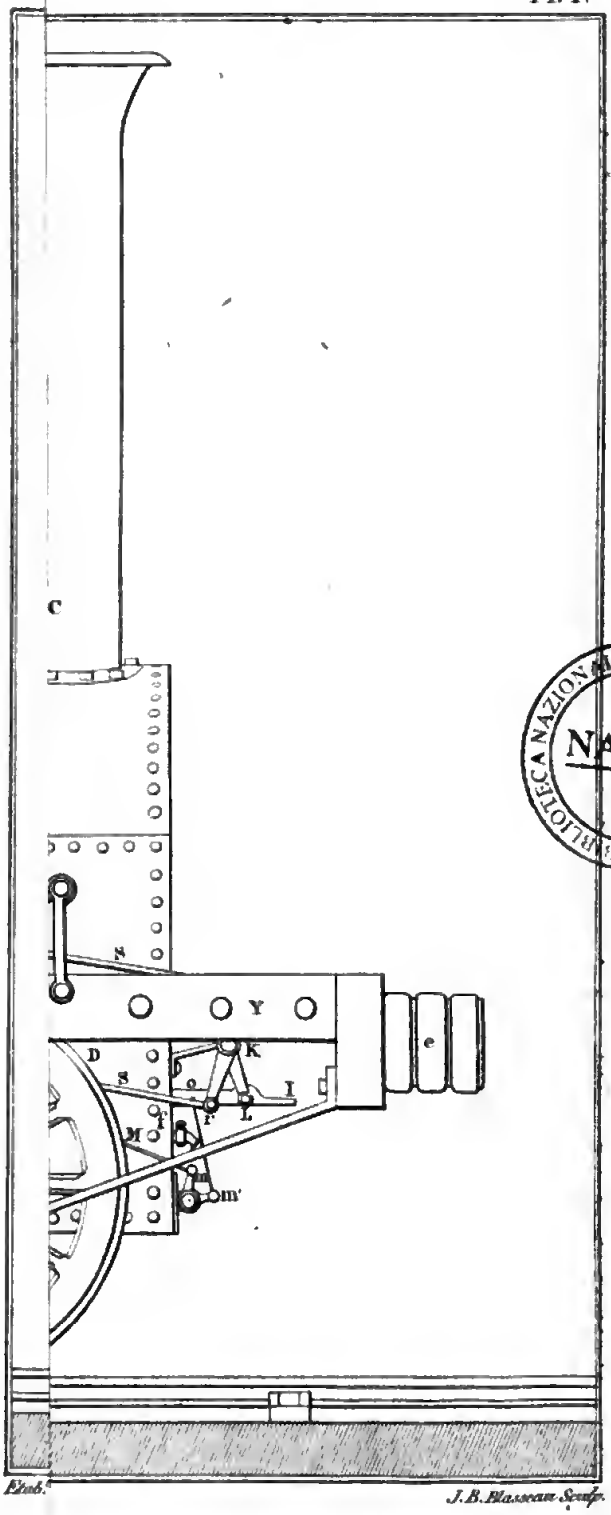
Le fonds réservé dans les six mois précédents n'a pas été touché.

FIN.

SBN 609912

Digitized by Google

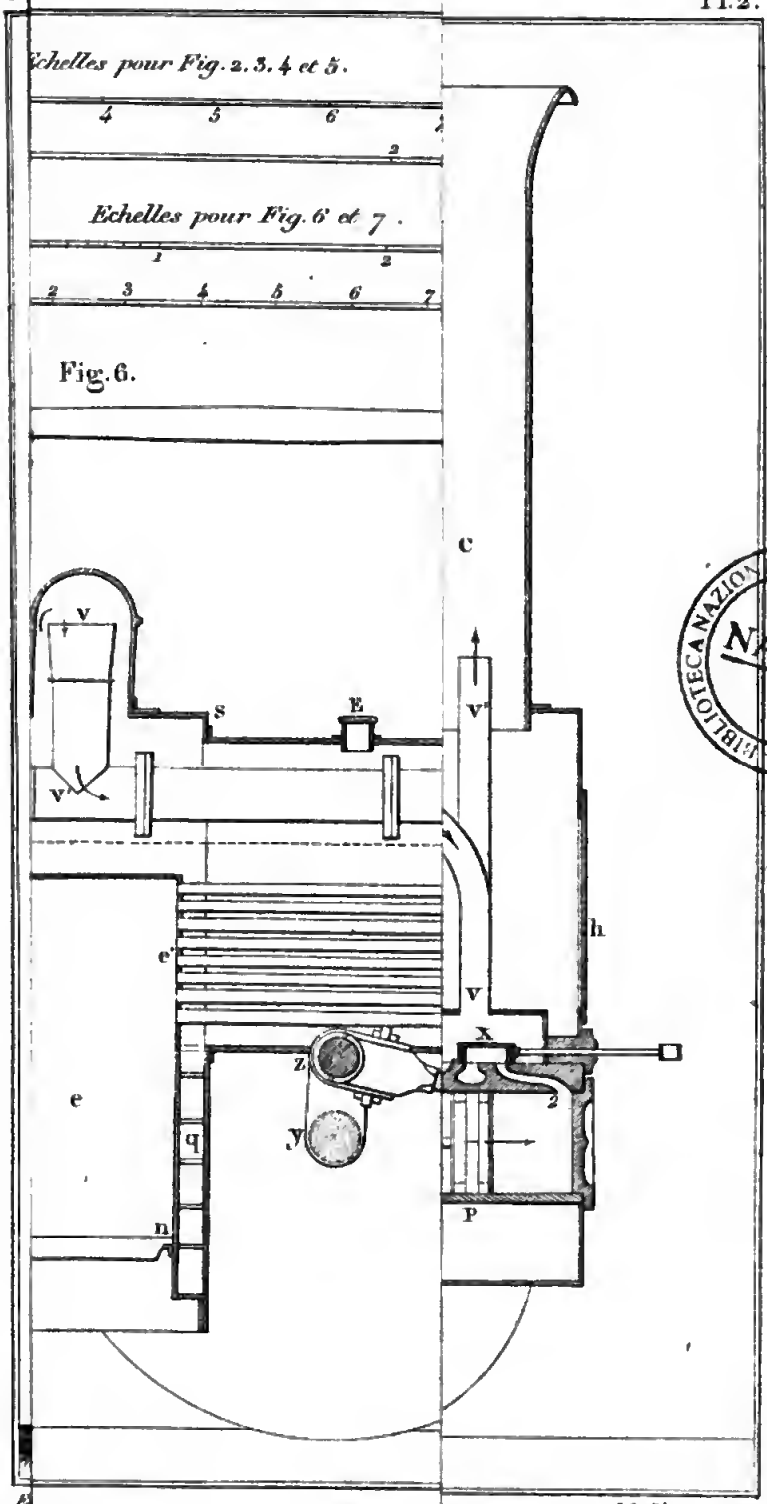
Digitized by Google



BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTOR. EM. III" NAPOLI

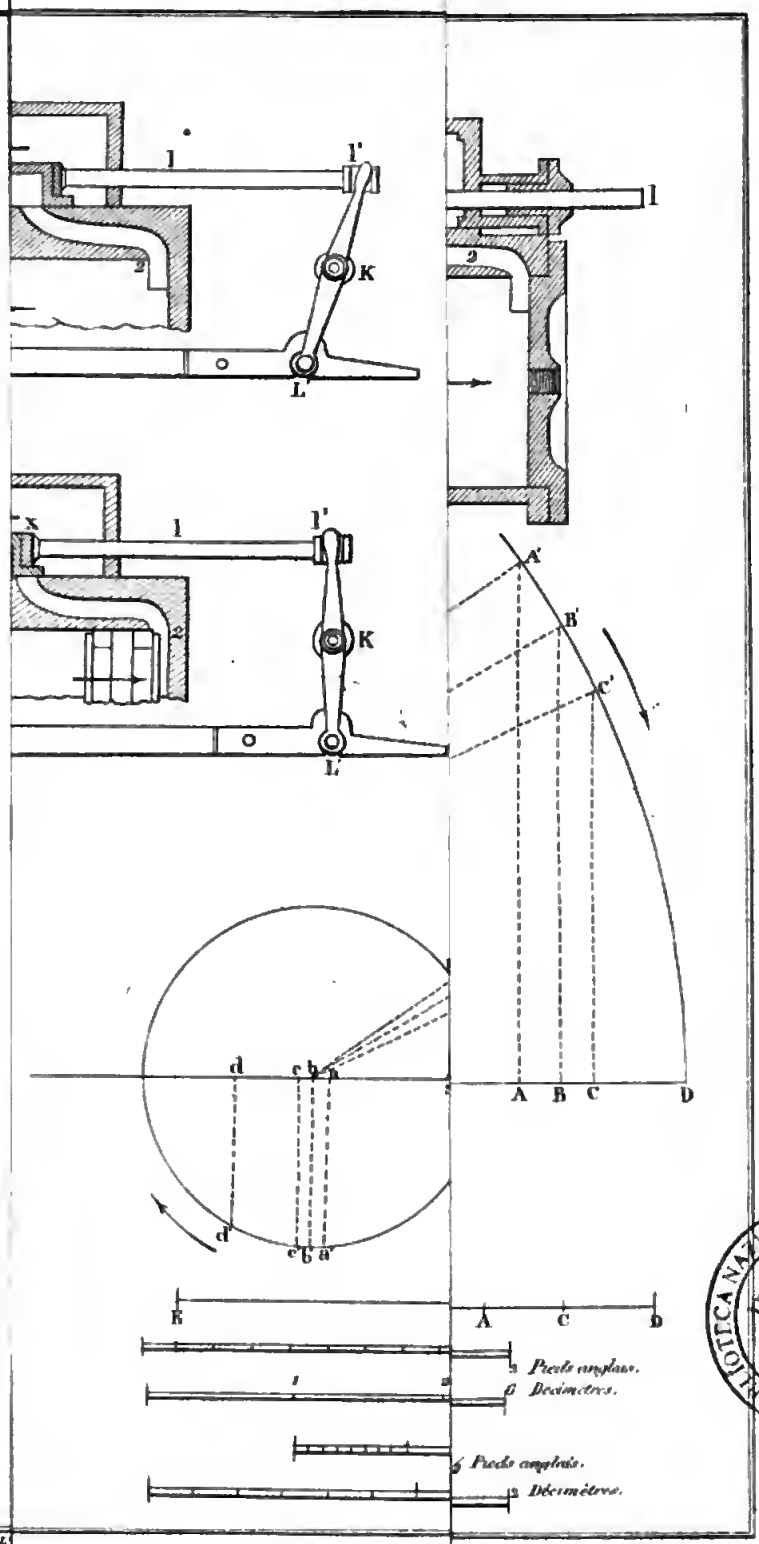
Etab. J.B. Blasseau Sculp.

Digitized by Google



BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" NAPOLI

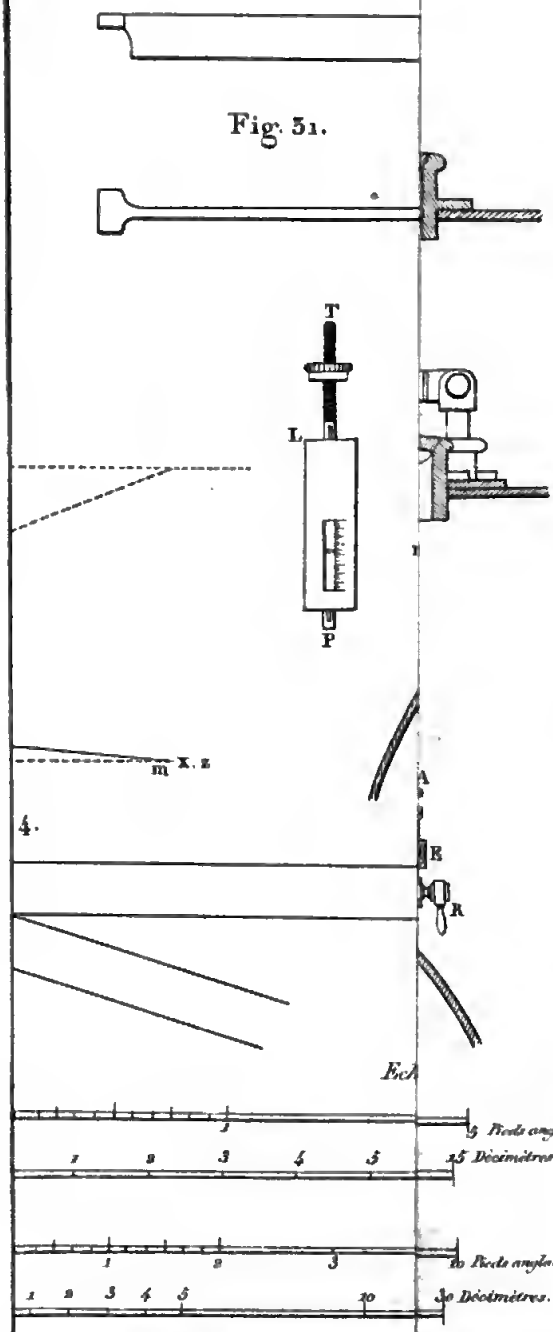
Digitized by Google

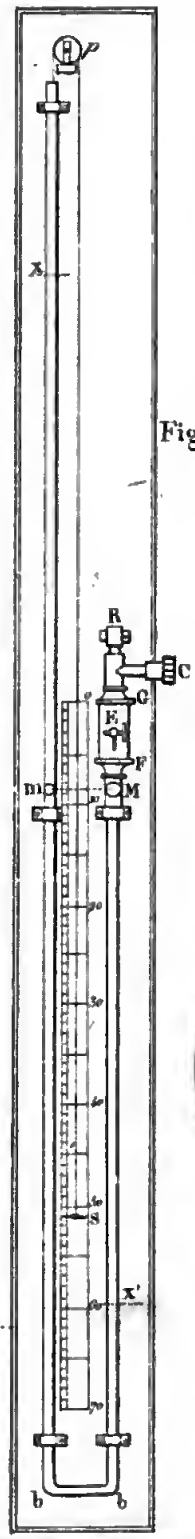


BIBLIOTECA NAZIONALE VITTORIO EMANUELE III
NAPOLI

Fig. 31.

Fig. 18.





BIBLIOTECA NAZ. VITTORIO EMANUELE III
NAPOLI

J. B. Blosseau Sculp.

Digitized by Google

Google

Google